زلزله در آلبوم تجربه

فراگیری مهندسی زلزله با مشاهده خرابیها

مؤلفین :

پروفسور هاکانو موتوهیکو   دکتر نعمت حسنی   مهندس محمدرضا اسلامی

به نام خدا

زلزله در آلبوم تجربه

(فراگیری مهندسی زلزله با مشاهده خرابیها)

مؤلفین :

پروفسور هاکانو موتوهیکو
استاد دانشگاه توکیو

دکتر نعمت حسنی
استادیار دانشکده صنعت آب و برق
(شهید عباسپور)

مهندس محمدرضا اسلامی
سرپرست نظارت ساخت و مونتاژ سازه راس
برج میلاد

Motohiko, hakuno
موتوهیکو، هاکانو
زلزله در آلبوم تجربه : فراگیری مهندسی زلزله با مشاهده خرابیها / مولفین هاکانو موتوهیکو، نعمت حسنی، محمدرضا اسلامی.- تهران: شرکت یادمان سازه، ۱۳۸۲.
ذ، [۱۷۲] ص. : مصور ، جدول.
ISBN ۹٦٤-۰٦-۲۷٤۲-۹
فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیپا .
عنوان اصلی : Earthquake damage: the mothet of earthquake engineering – learning form…
۱.زلزله -- مهندسی. ۲.زلزله شناسی. الف.حسنی، نعمت، ۱۳۳۸ - .ب.اسلامی، محمدرضا، ۱۳۵٦ - ج.عنوان.
TA٦٥٤/٦/م۸ز۸ ٦۲٤/۱۷٦۲
۱۳۸۲
کتابخانه ملی ایران ۱۲۷۱-۸۲م

شرکت یادمان سازه

نام کتاب : زلزله در آلبوم تجربه (فراگیری مهندسی زلزله با مشاهده خرابیها)

مولفین : پروفسور هاکانو موتوهیکو - دکتر نعمت حسنی - مهندس محمدرضا اسلامی

ناشر : شرکت یادمان سازه

نوبت چاپ : اول

تاریخ انتشار : بهار ۱۳۸۲

تیراژ : ۳۰۰۰ جلد

تعداد صفحه : ۱۸۲ صفحه

لیتوگرافی : مهر گستر ۸۸۴۱۸۸۸

قیمت ۵۰۰۰

شابک : ۹-۲۷۴۲-۰۶-۹۶۴ ISBN ۹٦٤-۰٦-۲۷٤۲-۹

کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر برای ناشر محفوظ است.

تهران - بلوار میرداماد- خیابان اطلسی- کوچه بهبهانی- شماره ۸۰ - کدپستی۱۹۱۱۶- دورنگار ۲۲۲۷۷۶۹

این کتاب هدیتی‌است به تمام مردمان، خاصه تقدیم به

جوانان

آنان که به کاوش و پژوهش در باب «زمین» مشغولند.

امید که این کتاب دریچه‌ای باشد از الهام و روشنگری در جهت کاستن از

خسارات زلزله برای دنیایمان

و

تقدیم به قربانیان و آسیب‌دیدگان زلزله قزوین

که تهیه و تدارک این کتاب مقارن با بروز زلزله در این بخش از کشور *ایران* بود.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار ----------	خ
فصل اول: زلزله چیست ----------	۱
■ کانون و مرکز زلزله	۳
■ مقیاس‌های بزرگی و شدت در زمین‌لرزه‌ها	۳
■ پیش لرزه، لرزهٔ اصلی، پس لرزه و لرزه‌های پیاپی (پشت سرهم)	۷
فصل دوم: علت وقوع زلزله ----------	۹
■ مناطق زلزله‌خیز	۱۰
■ علت بروز زلزله	۱۳
فصل سوم: حرکت امواج زلزله ----------	۲۱
■ اهمیت شناخت ویژگی‌های امواج	۲۱
■ نوع و چگونگی امواج زلزله	۲۲
■ انعکاس و انکسار امواج لرزه‌ای	۲٤
■ اثرات ساختگاه بر حرکات لرزه‌ای	۲٦
فصل چهارم: خسارات وارده به زمین دراثر زلزله ----------	۳۵
■ مهندسی زلزله ژئوتکنیک	۳۵
■ حرکت توده‌های سنگ و خاک	۳۸
■ روانگرایی	٥٦
فصل پنجم: خسارات وارده به سازه‌ها در اثر زلزله ----------	٦۹
■ مراحل آسیب در مهندسی زلزله	٦۹
■ عوامل مؤثر درآسیب‌پذیری	۷۰
■ تفاوت بین ساختمان و سایر سازه‌ها	۷۱
■ نقاط ضعف در ساختمان سازی ایران	۷۲
■ ارتعاشات سازه‌ها در اثر زلزله	۷٤
خسارات وارد به سازه‌های مهندسی عمران	۷۵
■ خسارات وارد به پلها	۷۵
■ خسارات وارد به سدها	۸٤

■ خسارات وارد به تونلها ۸۷
■ خسارات وارد به خاکریزها ۸۹
خسارات وارد به ساختمانها ۹٤
■ خسارات وارد به خانه‌های چوبی ۹٤
■ خسارات وارد به خانه‌های ساخته شده با مصالح بنائی ۹۸
■ خسارات وارد به سازه‌های بتن آرمه ۱۰۷
■ خسارات وارد به سازه‌های فلزی ۱۲۱

فصل ششم: سایر حوادث و عوارض ناشی از زلزله -- ۱۲۵
■ اثرات ثانویه زلزله ۱۲۵
■ آتش‌سوزیها ۱۳۰
■ سونامی ۱۳۹

فصل هفتم: خسارات نوین ناشی از زلزله -- ۱٤۷
■ مقدمه‌ای بر توسعه شهرها و افزایش خسارات اقتصادی ۱٤۷
■ نمونه‌ای از خسارات اقتصادی در زلزله‌های اخیر ۱٤۸
■ اختلال در عملکرد شریان‌های حیاتی ۱۵۲
■ اثرات اطلاعات نادرست ۱۵٤

فصل هشتم: پیشگیری از آسیب‌های زلزله -- ۱٦۱
■ پیش‌بینی زلزله و تجربه بشری ۱٦۱
■ پیش‌بینی زلزله در ژاپن ۱٦٤
■ تدابیر پیشگیرنده در برابر خسارات ناشی از زلزله ۱٦٤

فصل نهم: مهندسی زلزله در آینده -- ۱٦۷
■ زلزله و آینده ۱٦۷

سخن آخر -- ۱۷۱

پیشگفتار

به نام خدای مهربان

انسان و حیوانات نسبت به حفظ، بهبود و ادامهٔ حیات خود حساس‌اند. لذا هرچه را که حیات آنها را تهدید نماید خطر پنداشته و سعی در مقابله یا اجتناب از عوارض آن دارند. اما انسان بواسطهٔ شعور و اختیار ناشی از آن سعی بیشتری در مقابله با پدیده‌های خطرزا و از جمله بلایای طبیعی نظیر زلزله، سیلاب، طوفان، خشکسالی، آتشفشان و نظایر آنها داشته است.

در این میان زلزله بخاطر تفاوتهای زیر با سایر بلایای طبیعی، از اهمیت خاصی برخوردار است:

الف) قدرت تخریب بسیار زیاد که معادل دهها و گاهی صدها بمب اتمی می‌باشد.

ب) زمان بسیار کوتاه وقوع که تقریباً در اکثر قریب به اتفاق موارد، کمتر از یک دقیقه بوده و لذا امکان هرگونه مقابله همزمان را بسیار مشکل می‌سازد.

ج) حوزه تخریب بسیار زیاد که دهها و گاهی صدها هزار کیلومترمربع را شامل می‌گردد.

د) ادامهٔ تهدیدات ناشی از خطر پس‌لرزه‌ها که گاهی به بیش از یکسال می‌انجامد.

ه) پیش‌بینی وقوع آن با تقریب مطلوب و عملی بسیار مشکل بوده وگاهی پیش‌بینی دقیق وقوع آن نظیر سایر بلایای طبیعی، درحال حاضر تقریباً غیرممکن می‌نماید.

اما اهمیت بیشتر بشر به پدیده زلزله در قرن گذشته بطور عمده می‌تواند ریشه در عوامل زیر داشته باشد:

الف) افزایش تعداد شهرها در نقاط مختلف که بعضاً در مناطق فعال لرزه‌خیز بوده است.

ب) گسترش شهرها و بزرگ‌شدن آنها بطوری که گسلهای زیادی در داخل مناطق شهری قرار گرفته‌اند.

ج) افزایش تراکم جمعیت شهرها که باعث افزایش تعداد قربانیان زلزله گردیده است.

د) افزایش کمی و کیفی تأسیسات و امکانات مختلف شهری که باعث افزایش خسارات مالی ناشی از زلزله شده است.

ه) پیشرفت دانش لرزه‌شناسی و مهندسی زلزله که بشر را قادر به ثبت اطلاعات زلزله‌های گذشته و تجزیه و تحلیل هرچه دقیقتر آنها نموده است.

در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم، دانش بشری در زمینه‌های مختلف به ویژه در علوم طبیعی وارد مرحله نوینی گردیدکه سیر تصاعدی آن ہـ چنان ادامه دارد. شهرهای جدید با تأسیسات نوین شهری یکی پس از دیگری بویژه در کشورهای توسعه‌یافته و لرزه‌خیزی نظیر امریکا و ژاپن پا به عرصه وجود نهادند. پا به پای این توسعه عظیم، دانش زلزله نیز با وقوع زلزله ۱۹۰۶ در سانفرانسیسکوی ایالات

متحده امریکا و پس از آن در زلزله بزرگ کانتو در سال ۱۹۲۳ در کانتوی ژاپن به مرکزیت توکیو وارد مراحل منسجم علمی و عملی خود گردید.

گذشت بیش از نیم‌قرن از عمر تأسیسات شهرهای مدرن در مناطق زلزله‌خیز، باعث گردید تا زلزله‌های بعد از سال ۱۹۷۰ حامل درسهای جدیدی از خرابیهای مختلف در شهرهای مدرن گردد و تحولات جدیدتر و عمیق‌تری در مهندسی زلزله بویژه در رابطه با شریانهای حیاتی بوجود آید.

عامل اساسی در آسیب‌های زلزله‌های سه دهه اخیر، پدیده سالخوردگی یا کهنگی (aging) می‌باشد. این پدیده به طورکلی دارای اثرات زیر در آسیب‌پذیری سیستم‌ها می‌باشد:

الف) گذشت زمان زیاد، باعث خستگی مواد و مصالح زیر بارهای تناوبی (Fatigue) و افت ناشی از اثر طولانی مدت بارهای ثابت (خزش Creep) می‌گردد. این امر باعث می‌شود تا سیستم به مرور زمان دچار ضعف گردیده و درصورت بروز پدیده زلزله به راحتی آسیب ببیند.

ب) سیستم‌ها تحت اثر عوامل محیطی نظیر آب، خاک، هوا، مواد شیمیایی و نظایر آنها، فعل و انفعالاتی انجام می‌دهند که حاصل آن پدیده‌هایی نظیر خوردگی، هوازدگی، فرسایش و مشابه آنها می‌باشد. این امر نیز با ایجاد ضعف‌های کلی یا موضعی در قسمتهای مختلف سیستم‌های باربر باعث ضعف آنها می‌گردد که زمینه آسیب‌پذیری هرچه بیشتری را هنگام زلزله در آینده فراهم می‌سازد.

ج) دانش و فن‌آوری که درچند دهه قبل برای طراحی و ساخت سازه‌ها و تأسیسات مختلف بکار گرفته شده است، به علت پایین بودن و نقص دانش و فن‌آوری بشر در آن سالها، باعث وجود نقاط ضعف متعدد ناشی از طراحی، ساخت و اجرا گردیده که در زلزله‌های آینده با ایجاد آسیب‌های متنوع، نارسائیهای دانش و فن‌آوری گذشته آشکار خواهد شد.

توجه به موارد اشاره شده در بالا و عنایت به این نکته که آزمایشات مخرب آزمایشگاهی در زمینه مهندسی زلزله نیاز به تجهیزات عظیم و هزینه‌های بسیار هنگفت دارد، نقش مستندسازی و درس‌آموزی از زلزله‌های گذشته را بسیار برجسته و حائز اهمیت می‌نماید. در واقع خرابیها و آسیب‌های ناشی از زلزله‌ها باعث قوام هرچه بیشتر و پیشرفت لرزه‌شناسی و مهندسی زلزله گردیده است و به ویژه مهندسی زلزله درسهای فراوانی از خرابیهای زلزله‌های گذشته آموخته است.

در زمینه مستندسازی رویداد زلزله همانند سایر موارد، کشورهای پیشرفته دارای ساختار و برنامه‌های لازم بوده‌اند و لذا اسناد و مدارک با ارزشی از زلزله‌های گذشته را تهیه نموده‌اند. در حالیکه این امر در سایر کشورها از جمله ایران هنوز جایگاه خود را پیدا ننموده است. هرچند که در سالهای اخیر شاهد بعضی موارد مستندسازی در صنعت آب و برق و همچنین در احداث برخی سازه های خاص در کشورمان بوده‌ایم که امید است این امر هرچه زودتر در جامعه ایران نهادینه گردد.

در ارائه مستندات و انتشار اطلاعات زمینه‌های تخصصی نظیر زلزله بایستی متوجه این تفاوت بود که عموم مردم همیشه علاقمند به تحلیل کیفی موارد هستند در حالیکه خواص مردم بیشتر به جنبه تحلیل‌های کمی علاقه‌مند می‌باشند. در این کتاب سعی بر آن است تا در درجه اول عموم مردم بتوانند درکی صحیح از پدیده زلزله پیدا نمایند و آن را تا حدود زیادی لمس و باور کنند. در عین حال متخصصین و مدیران نیز بتوانند بخشی از موارد مطلوب خود را در قسمتهای مختلف آن بیابند. انتخاب ژاپن و تجارب آن با همین دیدگاه بوده است. *زیرا زلزله در ژاپن بصورت یک عامل مهم در زندگی روزمره مردم درآمده است.* آنها با آن مأنوس بوده و زندگی خود را براساس آن تنظیم نموده‌اند.

در میان اساتید و متخصصان ژاپنی افرادی هستند که بواسطهٔ قدمت و ارزش خدمات آنها در زمینه زلزله هیچگاه فراموش نمی‌شوند و جایگاه ارزشمند و والایی در میان متخصصین علم در سراسر جهان دارند. آقای «پرفسور هاکونو» که بیش از یک دههٔ افتخار آشنایی با ایشان را داشتم از جملهٔ اساتید گرانقدر ژاپن در زمینه مهندسی زلزله می‌باشند که در حدود نیم‌قرن در این زمینه در دانشگاه توکیو فعالیت نموده و بعد از بازنشستگی با وجود کهولت، همچنان به فعالیتها و تحقیقات خود ادامه داده‌اند. کمتر کسی است که در زمینه زلزله با ژاپن مرتبط باشد و ایشان را نشناسد. با ایشان در سمینارها، کنفرانس‌ها و کارگاههای تخصصی متعددی در ایران و سایر کشورها شرکت داشته‌ام. از نقطه‌نظرات ساده ولی کارساز ایشان بهره‌ها جسته‌ام. ایشان بواسطه حضور در تیم‌های مختلف ارزیابی‌کننده زلزله‌های ایران و همچنین شرکت در کارگاههای تخصصی زلزله در ایران آشنایی زیادی با ایران و وضعیت لرزه‌خیزی آن دارند.

در همین راستا، بعد از دریافت کتابی از ایشان که بصورت مصور و خیلی ساده تجربیات فراوان ایشان را برای عموم ارائه می داد، ترجمه این کتاب را برای مردم عزیز ایران بسیار مناسب یافتم که پس از مشورت ایشان و اخذ موافقت وی، ترجمه آن را آغاز نمودیم که زحمت اصلی ترجمه به عهده دانشجوی سابق و دوست عزیزم آقای مهندس محمدرضا اسلامی بوده است. ترجمه ایشان آن قدر شیوا و روان بودکه ویراستاری آن با کمترین اصلاحات و زمان به پایان رسید و این ناشی از ذوق فراوان ایشان در ادبیات فارسی و مسائل تخصصی رشته عمران می‌باشد.

در حین ویراستاری کتاب متوجه شدیم که بعضی قسمتها را بایستی به دلایل زیر و به منظور هرچه مفیدتر نمودن آن کم یا زیاد نمود.

الف) بعضی از قسمتهای متن برای درک بهتر خوانندهٔ عزیز ایرانی بایستی تغییر جزیی می‌کرد که انجام شده است.

ب) بعضی از تصاویر بنا به تشخیص، زیاد جالب نبوده و دارای پیام گویایی نبود که تصمیم به حذف آنها گرفته شد.

ج) متقابلاً بعضی تصاویر مربوط به دیگر زلزله‌های مهم دهه ۹۰ انتخاب شد و به کتاب اضافه گردید.

د) بعضی از توضیحات آقای پرفسور هاکونو در سالهای بعد از تحریر کتاب، جای بازنگری و اصلاح داشت که در جای خود توضیحات داده شده و اصلاحات بعمل آمده است.

ه) بنده نیز به عنوان یک متخصص ایرانی که بخش عمده‌ای از عمر خود را در ژاپن به عنوان دانشجو، محقق و استاد گذرانده‌ام تجربیات و دیدگاههای خود را بطور خلاصه در قسمتهای مختلف در کتاب ارائه نموده‌ام که امیدوارم مفید فایده واقع گردد.

در طی تماسهایی که در طی ترجمه،تغییر واصلاح کتاب با جناب پروفسور هاکونو داشتم،ایشان توصیه نمودند که مجموعه حاضر به صورت یک تألیف جدید منتشر گردد که بدینوسیله از ایشان و همین طور جناب آقای مهندس اسلامی تقدیر و تشکر می نمایم.

در پایان ضمن تقدیر و تشکر از کلیه دوستان و همکاران ایرانی و ژاپنی به ویژه آقایان مهندس معین فر و دکتر کیمیرو مگرو که ما را در تهیه این کتاب یاری نموده‌اندو از همکاران در واحد مستند سازی دانشکده صنعت آب و برق(شهید عباسپور)که تنظیمات اصلی کتاب را انجام داده‌اند و نیز دانشجویان عزیزم دراین دانشکده بویژه در انجمن علمی عمران و اساتید و مسؤولین محترم آن کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم. همینطور از مسؤولین محترم شرکت یادمان سازه به‌ویژه جناب آقای مهندس زرکوب که از چاپ کتاب حمایت لازم را به عمل آوردند نهایت تشکر و قدردانی را می‌نماییم.

نعمت حسنی
استادیار دانشکده صنعت آب و برق (شهید عباسپور)
(استادیار سابق دانشگاه کوبه ژاپن)

فصل اول

زلزله چیست؟

در یک بیان اجمالی، زلزله حادثه‌ای است که در اثر لرزش زمین، به وقوع می‌پیوندد. معمولاً در پوستهٔ زمین (یعنی لایه هایی از سنگ که در زیر خاک سطحی و معمولاً در عمقی حدود ۳۰ الی ۴۰ کیلومتری قرار دارند) شکستهای برشی، کششی یا فشاری به وقوع می‌پیوندد. انتشار لرزشی که در اثر این شکست در پوسته پدید آمده است، زلزله نامیده می‌شود.

نه‌تنها در بین عموم بلکه گاهی اوقات در بین دانشجویان و مهندسین نیز تمایز صحیحی بین علوم مختلف مربوط به زلزله وجود نداشته و گاهی یکی به جای دیگری استفاده شده و یا از یک متخصص در زمینه دیگری دور از تخصص وی انتظار می‌رود. در اینجا در یک تقسیم‌بندی کلی، تفاوت اجمالی زمینه‌های مختلف علمی مربوط به مقوله زلزله بیان می‌گردد.

جدول ۱ : تفاوتهای اجمالی علوم مربوط به زلزله

مبحث	موضوع	مرحله
زمین‌شناسی لرزه‌ای (لرزه زمین‌ساخت)	مطالعه نحوهٔ شکل‌گیری پوسته زمین- چگونگی فعالیتهای دوران جدید (کوارترنر)- تکتونیک صفحه‌ای- شکل‌گیری چین‌خوردگی‌ها و فرونشست‌ها- گسل‌ها و مشخصات آنها- پتانسیل‌های لرزه‌خیزی	ویژگیهای لرزه‌ای زمین تا حرکت گسل‌ها
لرزه‌شناسی	پتانسیل لرزه‌ای گسلها، مکانیزم حرکت آنها، امواج لرزه‌ای، نحوهٔ حرکت امواج در زمین، ویژگیهای امواج و لرزه‌شناسی آنها، چگونگی امواج	بعد از لرزش گسل تا ارتعاش خاک، حرکت گسل و انتشار امواج درخاک
مهندسی زلزله ژئوتکنیک	وضعیت سنگ، وضعیت لایه‌های رسوبی، ارتعاش لایه‌های خاک روی سنگ کف، اثر آب در رفتار خاک، تغییر شکلهای بزرگ و ماندگار زمین، روانگرایی، گسترش جانبی، زمین‌لغزه، اثر زلزله بر سازه‌های خاکی یا درون‌خاکی	ارتعاش خاک و سازه‌های خاکی و خرابیهای زمین
مهندسی زلزله سازه	بررسی اثر زلزله روی سازه‌های برون خاکی (نظیر ساختمانها، سدها، دکلها، مخازن، دودکشها، پلها، برجها)، رفتار سازه‌ها و مکانیزم خرابی آنها، اندرکنش خاک با سازه روی آن، روشهای تقویت سازه‌ها	ارتعاش ، رفتار و خرابی سازه‌ها

مهندسی زلزله شریانهای حیاتی	تحلیل شبکه‌های انتقال و توزیع در هنگام زلزله، رفتار شبکه‌ها در هنگام زلزله،برآوردآسیب‌پذیری شبکه‌ها، راهکارهای نرم‌افزاری و سخت‌افزاری کاهش خطر، تقویت شبکه‌ها	شبکه‌های انتقال، توزیع، جمع‌آوری و مصرف (مصارف قبض‌دار نظیر آب، برق، گاز، مخابرات و فاضلاب)
مدیریت بحران زلزله	برآورد خسارات اقتصادی، ضربات اجتماعی، آماده‌سازی قبل از زلزله، آموزش‌های عمومی، سازماندهی بعد از زلزله، سیاست‌ها و برنامه‌های بازسازی	نحوه ضربات و اثرات خرابیها در فرد، اجتماع و اقتصاد

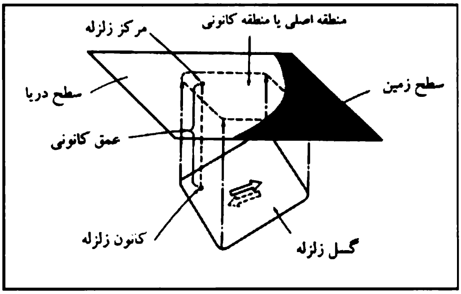
در هنگام وقوع یک زلزله بطور اجمال اطلاعات مختصری از طریق رسانه‌ها در اختیار عموم قرار خواهد گرفت که می‌تواند تا حدود زیادی ابعاد حادثه و خسارات و تلفات ناشی از آن را شرح دهد. براساس تجربه‌های موجود جدول زیر برای بیان اثرات احتمالی زلزله در رابطه با هریک از اطلاعات اولیه رسانه‌ای تنظیم گردیده که امید است مفید فایده خوانندگان عزیز اعم از متخصصین، مدیران و یا علاقمندان قرار گیرد.

جدول ۲ : آشنایی با اطلاعات اجمالی اثرات یک زلزله

موضوع	اثرات احتمالی
فصل	در سرما(زمستان)، مشکل اسکان- باران و زمین لغزه و در گرما (تابستان) مشکلات بهداشتی و بیماریها
روز	در روزهای عادی(غیرتعطیل) در هنگام روز مردم در اماکن عمومی می‌باشند ولی در ایام تعطیل در منازل یا مراکز خرید هستند.
ساعت	در شب‌هنگام بیشتر مردم در منازل هستند و کمک‌رسانی در تاریکی شب بسیار مشکل می‌باشد و تلفات زیاد خواهد بود. در روز بیشتر مردم در مدارس و ادارات می‌باشند و حوادث جاده‌ای و ریلی نیز تلفات زیادی خواهد داشت.
بزرگی زلزله (با درجه ریشتر)	انرژی آزاد شده را نشان می‌دهد که زیادی آن بیش از ٦ ریشتر می‌تواند منشاء خرابیهای قابل توجهی گردد.
عمق کانون	عمق کم کانون باعث خسارات و تلفات شدیدتر ولی محدودتر خواهد بود.
مرکز زلزله	اکثر خرابیها در اطراف آن و عمدتاً در راستای گسل منشاء زلزله می‌باشد.
دوام زلزله	هرچه زلزله با دوام‌تر باشد، خسارات و تلفات آن بطور فزاینده‌ای افزایش خواهد یافت.
حداکثر شتاب	هرچه شتاب زیادتر باشد، آسیب‌های وارده به صورت فزاینده افزایش می یابد.
پریود حاکم زلزله	سازه‌ها و بویژه ساختمانهایی که پریود طبیعی آنها به پریود حاکم زلزله نزدیک است، آسیب فراوانی خواهند دید. بطور تقریبی پریود طبیعی یک ساختمان n طبقه $\frac{n}{10}$ می‌باشد.

■کانون و مرکز زلزله

هنگامی که یک منطقهٔ مجزا از پوسته می شکند، زلزله به وقوع می پیوندد. مکانی که شکستگی اولیه در آن اتفاق می افتد، «کانون» نامیده می شود. نقطهٔ واقع بر سطح زمین که مستقیماً در بالای کانون قرار می گیرد، «مرکز زلزله» نامیده می شود. ایجاد شکست در پوسته از کانون زلزله آغاز می شود و به مناطق اطراف گسترش می یابد و این امر تا رسیدن به یک منطقهٔ معین از پوسته که از قبل ترک خورده باشد، ادامه می یابد. منطقه‌ای که این اتفاق در آن رخ می دهد را «منطقهٔ اصلی» و یا «منطقهٔ کانونی» گویند.



شکل ۱) گسل ،کانون ،منطقه کانونی و مرکز زلزله

■ مقیاس های بزرگی و شدت در زمین لرزه ها

«بزرگی» (M)، میزانی است برای بیان اندازه و مقدار انرژی آزاد شده در یک زلزله. مقیاس « شدت » یک زلزله میزانی است برای تعیین اثرات تعریف شده ای که در یک منطقهٔ معین ایجاد شده است. اگر لرزه های ایجاد شده ناشی از یک زلزله با لرزه های ناشی از انفجار دینامیت مقایسه گردد، مقدار دینامیت بکار برده شده مشابه «بزرگی» و اثرات لرزه هایی که در یک منطقه احساس می شود را می توان با «شدت زلزله» مشابه دانست.

بزرگی یک زلزله با انرژی، رابطه‌ای لگاریتمی دارد، به نحوی که یک درجه افزایش در «بزرگی» معادل است با ۳۰ برابر افزایش در مقدار انرژی آزاد شده ($10\sqrt{10}$ برابر). و به همین نحو اگر بزرگی زلزله به اندازه ۲ درجه افزایش یابد انرژی آزاد شده ۱۰۰۰ برابر می‌گردد ($10\sqrt{10} \times 10\sqrt{10}$ برابر). جدول ۳ ارتباط بین بزرگی و مقدار انرژی آزاد شده را نشان می دهد. برای مثال بزرگی ۷/٤ در زلزله منجیل رودبار در سال۱۹۹۰ و بزرگی ۷/۲ در زلزله کوبه در سال ۱۹۹۵ به ثبت رسیده است. در ژاپن خسارات اندکی توسط زلزله‌هایی با بزرگی ٦ یا کمتر به وقوع می پیوندد.

در ژاپن شدت زلزله، با استفاده از مقیاس تعریف شده توسط آژانس هواشناسی ژاپن (JMA) سنجیده می شود. در سایر کشورها از جمله ایران، مقیاس مرکالی اصلاح شده (MM) مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به اینکه مقیاس شدت زلزله، برمیزان اثرات زلزله در یک منطقهٔ بخصوص دلالت می‌کند لذا به منطقه‌ای که مشاهده در آن صورت می‌گیرد، بستگی دارد. جدول٤ مقیاس‌های شدت JMA و MM را نشان می‌دهد. همچنان که در این جدول نشان داده شده است، در مقیاس JMA ، مقادیر ۵ تا ۷ برمبنای میزان لرزش و خرابی خانه‌ها تنظیم شده است. در مقیاس شدت MM هم برای مقادیر ۱ تا ۱۲ تقسیم بندی به نحوه مشابه می‌باشد. این کمیتها بر مبنای اندازه‌گیریهای واقعی از شتاب زلزله و ... تقسیم بندی نشده اند. استفاده از کمیتهای اندازه‌گیری شده در اندازه‌گیری بزرگی، اخیراً تحت بررسی و اقدام است.

همچنان که بیان شد، مقیاسهای «بزرگی» و «شدت» دارای شاخصه‌هایی کاملاً متفاوت اند، که گاهی ایجاد سردرگمی و اشتباه می‌نمایند. برای مثال بیان M=٦ برای یک زلزله با استفاده از مقیاس JMA ایجاد یک سردرگمی بزرگ می‌نماید. چرا که «بزرگی» ٦ در

اینجا دلالت بر یک زلزله کوچک دارد که خسارات کم اهمیتی، حتی در نزدیکی مرکز ایجاد می‌نماید. در صورتی که «شدت» ٦ از مقیاس JMA بر لرزه‌هایی دلالت دارد که در زلزله عظیم کانتو در سال ۱۹۲۳ در توکیو و یوکوهاما به ثبت رسیده است.

هر قدر که بزرگی یک زمین لرزه بیشتر باشد، بیانگر فرکانسهای کمتری در زمان (دوره بازگشت طولانی‌تر) وقوع آن می‌باشد. این همبستگی در شکل ۲ نشان داده شده است.

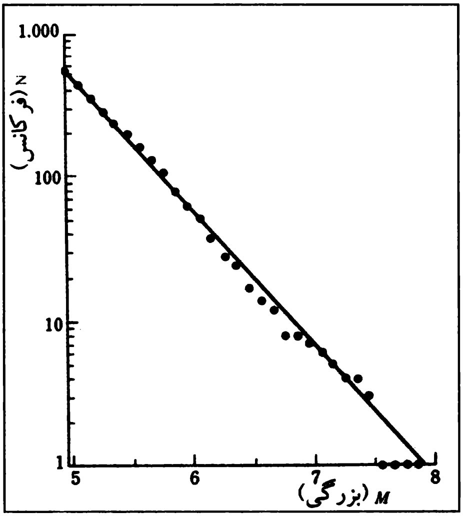
جدول ۳: رابطه بین بزرگی و انرژی در زلزله ها

بزرگی	انرژی	ملاحظات
۸/۵	$۳/۵ \times ۱۰^{۲٤}$	KW
۸	$٦/۳ \times ۱۰^{۲۳}$	
۷/۵	$۱/۱ \times ۱۰^{۲۳}$	
۷	۲×۱۰^{۲٤}	
٦/۵	$۳/۵ \times ۱۰^{۲۱}$	
٦	$٦/۳ \times ۱۰^{۲۰}$	معادل انرژی ناشی از بمب اتمی هیروشیما
۵/۵	$۱/۱ \times ۱۰^{۲۰}$	
۵	۲×۱۰^{۱۹}	
٤/۵	$۳/۵ \times ۱۰^{۱۸}$	
٤	$٦/۳ \times ۱۰^{۱۷}$	
۳/۵	$۱/۱ \times ۱۰^{۱۷}$	معادل انرژی بردن صد کامیون ده تنی به بالای کوه فوجی(با ۳۷۷٦ مترارتفاع)
۳	۲×۱۰^{۱٦}	معادل انرژی گرمایش ده تن آب از صفر به صد درجه سانتیگراد

جدول شماره ٤

مقیاس مرکالی اصلاح شده (MM)	مقیاس آژانس هواشناسی ژاپن(JMA)
۱. بجز در شرایط خیلی مطلوب قابل تشخیص نمی‌باشد. ۲. قابل احساس توسط اشخاص در حال استراحت به خصوص کسانی که در طبقات بالایی ساختمان باشند. بعضا اجسام معلّق را به نوسان درمی‌آورد. ۳. درون خانه یا اطاق احساس می‌شود، مخصوصاً در طبقات بالای ساختمان ممکن است به عنوان یک زلزله تشخیص داده نشود. ماشینهای متوقف ممکن است کمی به لرزه درآیند. لرزشی مشابه حرکت یک تراکتور ایجاد می‌شود. ٤. در طول روز توسط افراد زیادی در خانه و افراد معدودی در بیرون خانه، احساس می‌گردد. در هنگام شب توسط برخی از مردم احساس می‌شود. پنجره‌ها، ظروف و دربها آسیب می‌بینند و از دیوارها صدای حرکت شنیده می‌گردد. صدایی مانند حرکت یک کامیون در کنار خانه احساس می‌گردد. ماشینهای متوقف به طور محسوسی به لرزه در می‌آیند. ۵. تقریباً توسط همگان احساس می‌شود. افراد خواب بیدار می‌شوند. پنجره و ظروف دچار شکستگی می‌شوند. به درختان، دیرکها و بعضی از اشیای بلند آسیب وارد می‌شود. ٦. همه افراد متوجه می شوند و بسیاری از مردم از ترس از منازل فرار می‌کنند. برخی از وسایل سنگین خانه به حرکت در می‌آیند. نمونه‌های محدودی از فروریختگی دیوارها و یا دودکش به وقوع می‌پیوندد. ۷. همه مردم از خانه‌ها فرار می‌کنند. خسارات اندکی به سازه‌های با طراحی مناسب وارد می‌کند ولی ساختمانهای با طراحی غیر مهندسی دچار آسیب شدید می‌شوند. موجب فروریختن دودکشها می‌شود. رانندگان آن را احساس می‌کنند. ۸ ابنیه خاص هم دچار خسارات اندکی می‌شوند. ساختمانهای معمولی نیز به طور قابل توجهی آسیب می‌بینند و فروریختگی‌های موضعی در آنها رخ می‌دهد. ساختمانهای غیر مهندسی به شدت آسیب می‌بینند. اشیاء سنگین خانه‌ها، واژگون می‌شوند. در سطح آب چاهها تغییراتی ایجاد می‌شود. رانندگان اتومبیلهای در حال حرکت دچار هراس می‌شوند.	۰. غیر قابل احساس: این درجه از زلزله توسط مردم قابل احساس نیست و تنها توسط دستگاههای لرزه‌نگار ثبت می‌شود. ۱. آرام: تنها توسط برخی افراد حساس به زلزله و یا بعضی از افراد در حال استراحت حس می‌شود. ۲. ضعیف: توسط بیشتر مردم احساس می‌شود و باعث بروز ارتعاش درهای ساختمانها می‌شود. ۳. نسبتاً قوی: خانه‌ها و ساختمانها را به لرزه در می‌آورد و باعث بهم‌خوردن درها می‌شود. اشیاء آویزان به حرکت در می‌آیند. مایعات درون مخازن دچار حرکت می‌شوند. ٤. قوی: لرزش شدید خانه‌ها و ساختمانها را در پی دارد و منجر به سقوط اشیاء ناپایدار می‌شود. مایعات از درون مخازن و ظروفی که حداقل $\frac{4}{5}$ آنها پر شده باشد به بیرون می‌ریزند. ۵. خیلی شدید: بروز ترک در گچکاری دیوارها - اشیاء سنگین نظیر سنگ قبرها و یا گلدسته‌های سنگی واژگون می‌شوند. دودکشهای مصالح بنایی ودیوارهای گل‌اندود دچار آسیب می‌شوند. ٦. خسارت بار: بیشتر از ۳۰٪ خانه‌های چوبی فرو می‌ریزد. زمین لغزه‌های بسیاری به وقوع می‌پیوندد و خاکریزها دچار خسارت می‌شوند و در زمین‌های مسطح ترک پدید می‌آید.

مقیاس مرکالی اصلاح شده (MM) (ادامه از صفحه قبل)	مقیاس آژانس هواشناسی ژاپن (JMA) (ادامه از صفحه قبل)
۹. سازه‌های با طراحی خاص هم دچار آسیبهای چشمگیری می‌شوند. ساختمانهای قابی با طراحی مناسب دچار ناشاقولی می‌شوند. در سطح زمین ترکهای چشمگیری پدیدار می‌شود. لوله‌های زیرزمینی می‌شکنند. ۱۰. بیشتر ساختمانهای قابی و مصالح بنایی از پی خود از بین می‌روند. سطح زمین به شدت دچار ترک می‌شود. در خطوط آهن انحناء بوجود می‌آید. زمین لرزه‌های قابل توجهی در نزدیکی بستر رودخانه‌ها و شیبهای تند بوجود می‌آید. فوران آب رخ می‌دهد. ۱۱. ساختمانهای با مصالح بنایی به ندرت برجا می‌مانند. پلها ویران می‌شوند. شبکه‌های لوله‌کشی زیرزمینی به کلی غیر قابل استفاده می‌شود. خطوط آهن خم می‌شوند. فرورفتگی‌های ناگهانی و لغزش در زمینه‌های نرم و مرطوب رخ می‌دهد. ۱۲. همه چیز از بین می‌رود. اشیاء به هوا پرت می‌شوند. در سطح زمین موجهایی پدیدار می‌شود.	۷. بسیار خسارت بار: فروریختن بیش از ۳۰٪ خانه‌های چوبی و سقوط بیشتر اشیاء در این وضعیت رخ می‌دهد. تغییر شکل موج مانند سطح زمین در افق قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۲) هر چه میزان بزرگی یک زلزله بیشتر باشد، بیانگر کمتر بودن تواتر وقوع زلزله می باشد.

فصل دوم

علت وقوع زلزله

همیشه این سؤال برای عموم مردم و متخصصین غیرزلزله‌ای مطرح بوده است که علت اصلی بروز زلزله چیست؟ غیر از لرزه‌های استثنایی که بنا به شرایط خاصی بوجود می‌آیند، زلزله به مفهوم متداول خود که تقریباً اکثریت قاطع زلزله‌های جهان را شامل می‌شود ناشی از حرکات پوستهٔ زمین روی قسمت خمیری (مانتول یا گوشتهٔ) آن می‌باشد. در مورد علل موارد استثنایی، می‌توان از موارد زیر نام برد:

الف) احداث سازه‌های حجیم و سنگین نظیر سدها و آبگیری آنها که این امر باعث می‌شود در اثر نیروی وزن زیاد، بخشی از پوستهٔ زمین به آرامی فرو رفته و در منطقهٔ اطراف لرزه‌هایی به وقوع بپیوندد. لرزه‌های متعدد ناشی از آبگیری سد کرخه در سال ۲۰۰۲ نمونه‌ای از این گونه لرزه‌ها می‌باشد.

ب) تخریب محوطه‌های زیرزمینی قدیمی نظیر غارها یا قناتها در بعضی موارد منجر به بروز لرزه‌های موضعی و کوچک در بعضی مناطق گردیده است.

ج) انفجارات اتمی زیرزمینی نیز می‌تواند از علل لرزه‌های کوچک و موضعی باشد که نمونه‌هایی از آن در صحراهای محل این آزمایشات نظیر نوادا در ایالت متحده امریکا ثبت شده است.

لیکن زلزله به معنای متداول آن ناشی از حرکات پوستهٔ زمین روی گوشتهٔ آن می‌باشد که باعث فشرده‌شدن پوستهٔ زمین در بعضی مناطق گردیده و بعد با آزادشدن انرژی از طریق لغزش بعضی شکاف‌های روی زمین چه در اعماق دریاها و چه در داخل خشکی‌ها، زلزله بوقوع می‌پیوندد.

علت اصلی این حرکات، وجود گرمای بسیار زیاد داخل هسته زمین و تغییرات دما از عمق به سطح می‌باشد. گوشتهٔ زمین که بین هستهٔ زمین و پوستهٔ آن قرار گرفته است، از طرف هسته بسیار داغ و از طرف پوسته نسبتاً سردتر می‌باشد. حرکت دورانی خمیرهٔ گوشتهٔ بین پوسته و هسته باعث می‌گردد که پوستهٔ روی گوشته به گردش درآید و در کم‌ضخامت‌ترین قسمت پوسته که در کف اقیانوس اطلس می‌باشد از هم‌شکافته و گوشتهٔ خمیری زمین به مرور وارد پوسته گردد و پوسته را تحت فشار قرار دهد. با توجه به حالت کروی زمین این پوسته اضافه شده به دو طریق متعادل می‌گردد:

الف) کوهزایی نظیر سلسله کوههای مختلف جهان که برای مثال می‌توان از زاگرس، البرز در ایران و آناتولی در ترکیه نام برد.

ب) دخول پوسته زمین به داخل گوشتهٔ زمین در مرز بین صفحات واقع بر پوستهٔ زمین که یکی از بارزترین نمونه‌های آن دخول پوستهٔ زمین به داخل گوشته در اقیانوس آرام می‌باشد که در زیر کشورهای ژاپن و تایوان روی می‌دهد.

■ مناطق زلزله‌خیز

مناطق زلزله خیز در دنیا مشخص می‌باشند.

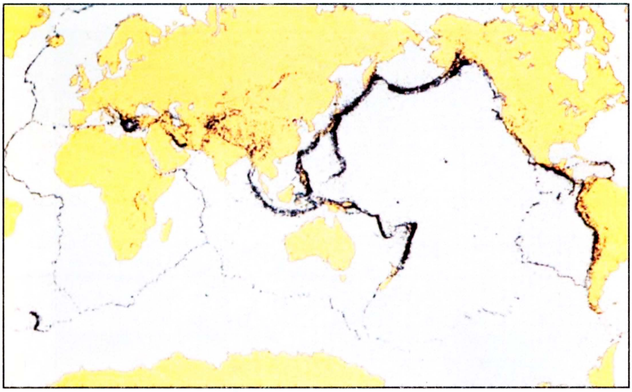
همچنان که در شکل ۳ دیده می شود، زلزله‌ها عمدتاً در مناطق خاصی از کره زمین به وقوع می‌پیوندند. بیرون از چنین مناطقی (برای مثال در انگلستان که مثل ژاپن کشوری جزیره مانند می‌باشد) زلزله ها خیلی به ندرت به وقوع می‌پیوندند.

زلزله ها خود انواع و اقسام مختلف و متفاوتی دارند، یکی از این انواع، زلزله‌هایی هستند که در کناره قاره‌ها و جزایر به وقوع می‌پیوندند. این زلزله‌ها در محل‌هایی رخ می‌دهند که در اصطلاح «کمربند زلزله» خوانده می شوند . سطح زمین توسط ورقه‌هایی پوشیده شده است که در واقع سنگهایی در حال حرکت می‌باشند (به شکل ٤ و ٥ توجه کنید). به دلیل اینکه زمین از لحاظ هندسی دارای شکل کروی می‌باشد و در مرکز این کره حرارت زیادی وجود دارد، در این صفحات جابجایی‌هایی به دلیل تغییرات درجه حرارت به وقوع می‌پیوندد. دقیقاً پدیده‌ای مشابه همین امر را می توان در یک ظرف سوپ داغ مشاهده کرد. جابجایی گرما باعث حرکت صفحات می‌شود و این حرکت صفحات که به صفحات دیگر نیز مرتبط می‌باشد، باعث ایجاد یک تنش تکتونیکی زیاد در مرز صفحات می گردد. زلزله پدیده‌ای است که در اثر افزایش ناگهانی این قبیل تنشها پدید می‌آید. زلزله، همچنین بر روی صفحاتی که در زیر صفحات سنگی قرار دارند نیز بوقوع می‌پیوندد، که این قبیل زلزله‌ها محدودهٔ وسیعی را در بر می گیرند.

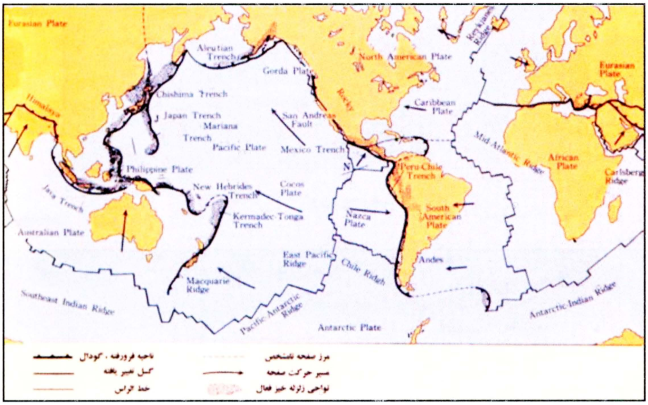
همچنین منطقه‌ای که در آن مرتباً شاهد رخداد زلزله هستیم، از شمال به جنوب در مرکز اقیانوس اطلس گسترده شده است. این منطقه در بردارندهٔ یک سری از خروجی‌های مواد مذاب آتشفشانی است که سنگهای مذاب از درون آنها فوران می‌کند. گدازه‌های سنگی که بدین طریق خارج می‌شوند توسط آب دریا سرد شده و تشکیل صفحاتی سنگی به ضخامت تقریبی ۷۰ کیلومتر می‌دهند. هنگامی که این صفحات در کف دریا شروع به حرکت می‌نمایند، نوع دیگری از زمین لرزه به وقوع می‌پیوندد ،که البته چون این زلزله‌ها در کف دریاها حادث می‌شوند، لذا اثرات مخربی بر زندگی انسانها ندارند. جالب توجه اینکه، سنگهایی که به صورت فورانی خارج شده و سرد می‌شوند، می‌توانند جداگانه سخت شده و خود، یک قارّه تشکیل بدهند. گفته می‌شود که در گذشته‌های دور، قسمت غربی قارهٔ آفریقا و قسمت شرقی قارهٔ آمریکا در مجاورت یکدیگر قرار داشته‌اند و به نظر می رسد که خط ساحلی آنها به یکدیگر متصل بوده است.در واقع، گویی چنین بوده است که تمامی قاره‌هایی که در حال حاضر موجودند، در گذشته به صورت یک قارهٔ واحد و عظیم‌الجثه قرار داشته‌اند.(شکل ٦)

زلزله‌های ژاپن و ایران

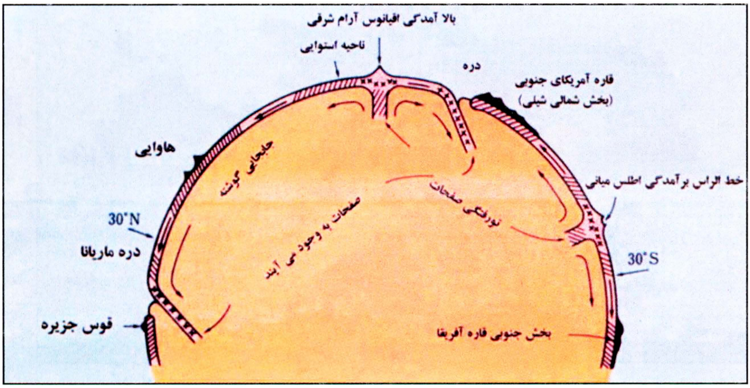
در ژاپن و یا اطراف آن، مناطق اصلی‌که طی سالهای گذشته دچار خسارات زیادی شده‌اند، در شکل (۷) نشان داده شده است. در امتداد ساحل اقیانوس آرام، زمین لرزه‌هایی با بزرگی ۸ در فواصل زمانی نزدیک به هم اتفاق افتاده است و زمین لرزه‌هایی با بزرگی ۷ در خود کشور ژاپن و در کناره‌های ساحل رخ داده است. اعتقاد بر این است که در امتداد ساحل اقیانوس آرام (در داخل اقیانوس) زلزله‌ای با بزرگی ۸، دارای دورهٔ بازگشتی در حدود ۱۰۰ الی ۲۰۰ سال باشد و همچنین زلزله‌ای با بزرگی در حدود ۷، دورهٔ بازگشت ۱ بار درمیان هر چند صد سال یا هزارسال را دارا می‌باشد.برای مثال زلزله سال ۱۹۹۵ شهر کوبه از گسل فوجیما روی داد که آخرین فعالیت آن حدود ۱۰۰۰ سال قبل از تاریخ زلزله کوبه بوده است. (در داخل یا نزدیک سواحل ژاپن) برخی بر این نکته اشاره دارند که محلی که در آن زلزلهٔ توکایی رخ داد در این شکل خالی (بدون زلزله) است. به این قبیل مناطق خالی از زلزله «شکاف‌های لرزه‌ای» گفته می‌شود.در ایران نیز اصفهان تقریبا حالتی مشابه دارد. بطور کلی منشا اصلی زلزله‌های ایران صفحه غربی مطابق شکل ٤ بوده و فشار ناشی از فرو رفتن این صفحه به زیر صفحه اوروشیا که ایران نیز بر روی آن قرار دارد باعث ایجاد فشار در فلات ایران می گردد که بخشی از آن بوسیله کوهزائی‌های زاگرس و البرز مستهلک می شود و بقیه منجر به زلزله می گردد.



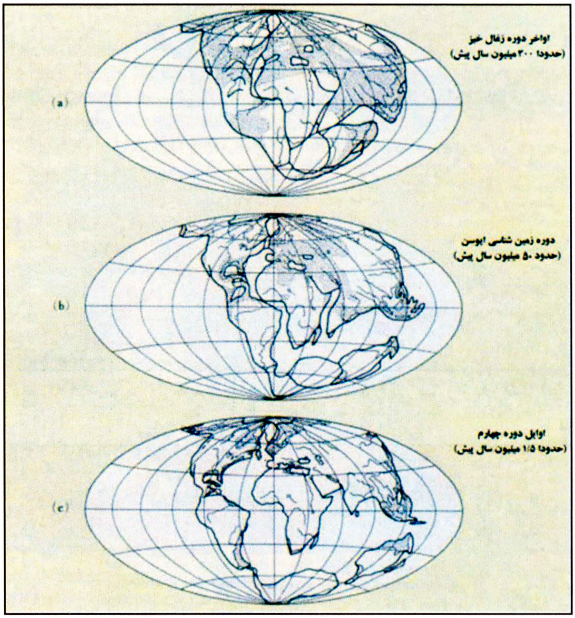
شکل ۳- توزیع ۵۹۹۷۲ مرکز زلزله مربوط به زلزله های با بزرگی بیش از ٤ ریشتر (از ۱۹٦٤ تا ۱۹۸۲)



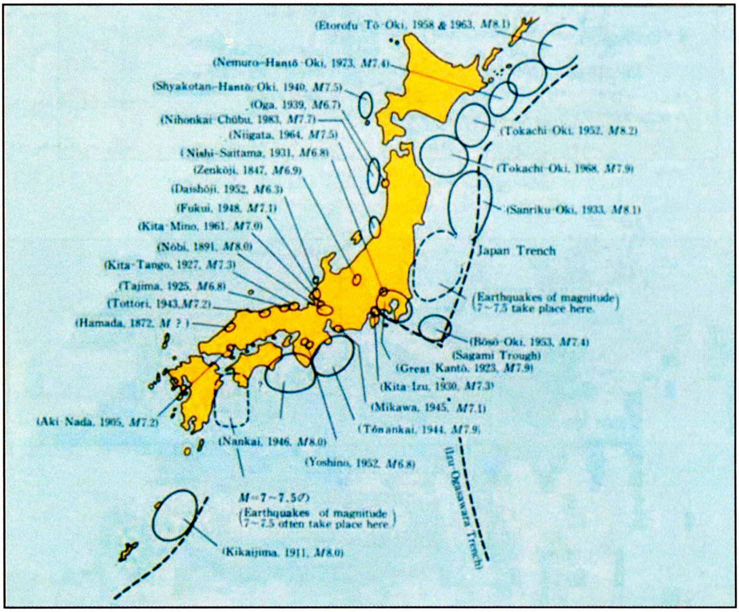
شکل ٤- نقشه جهانی صفحات پوسته‌ای خاص



شکل ٥- ایجاد صفحات و تورفتگی آنها



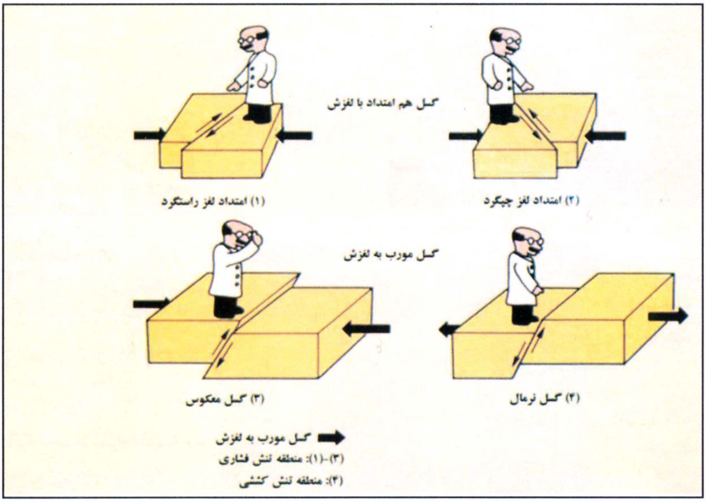
شکل ٦- دوره یخرفت قاره‌ای



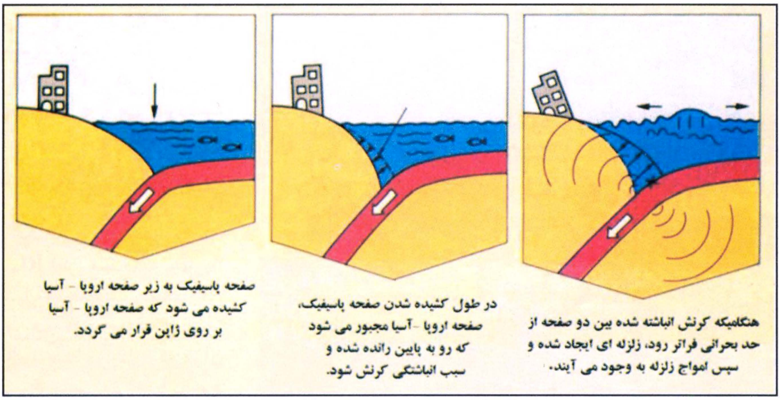
شکل ۷- مناطقی از ژاپن که زلزله‌های بزرگ یا متوسطی در آنجا روی داده است.

■ علت بروز زلزله

هنگامی که صفحات تشکیل دهندهٔ سطح زمین بر روی یکدیگر می‌لغزند، زلزله به وقوع می‌پیوندد که نمونه‌های مختلف شکستگی در شکل (۸) نشان داده شده است. مجمع الجزایر ژاپن بر لبهٔ شرقی صفحه اروپا - آسیا واقع شده است. ساحل ژاپن از طرف شرق توسط صفحه پاسفیک تحت فشار قرار می‌گیرد و از طرف جنوب هم به صفحهٔ فیلیپین منتهی می‌شود. در یک منطقه‌ای که این چنین تحت تراکم تنش قرارگرفته است، زمین لرزه‌های ناشی از «گسل‌های معکوس» و «لغزشهای افقی» به وقوع می‌پیوندد. زمین لرزه‌های ناشی از گسل‌های نرمال در حوزه تنش‌های کششی بوده و بندرت در ژاپن ملاحظه شده‌اند.



شکل ۸: انواع گسل

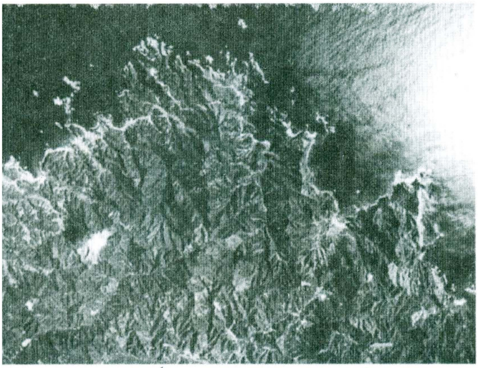


شکل ۹ – چگونگی وقوع زلزله ها در کمربند اقیانوس آرام

روی محل شکستگی گسل هاست که امواج زلزله منتشر می‌شوند.

گفته می‌شود که سرعت ایجاد گسیختگی در گسل‌ها باید در حدود Km/s ۲ تا ۳ باشد.

شکل ۱۰ – وضعیت شماتیک گسل



۱ وضعیت گسل در عکس هوایی کاملاً مشخص است.

تخمین میزان جابجایی

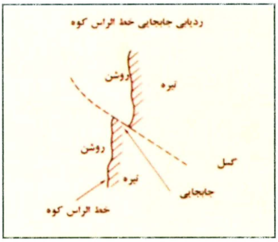
تعداد سالهای گذشته پس از شروع جابجایی: یک میلیون سال

میزان جابجایی که در اثر زلزله ایجاد شده است: ۵۰ سانتیمتر

میزان جابجایی تخمین زده شده توسط عکسهای منطقه‌ای: ۳۰۰ متر

۳۰۰/۰.۵=۶۰۰ بار(تعداد زلزله‌های به وقوع پیوسته)

۶۰۰ بار / ۱ میلیون سال=۱۵۰۰ (هر ۱۵۰۰ سال یک زلزله رخ می‌دهد)

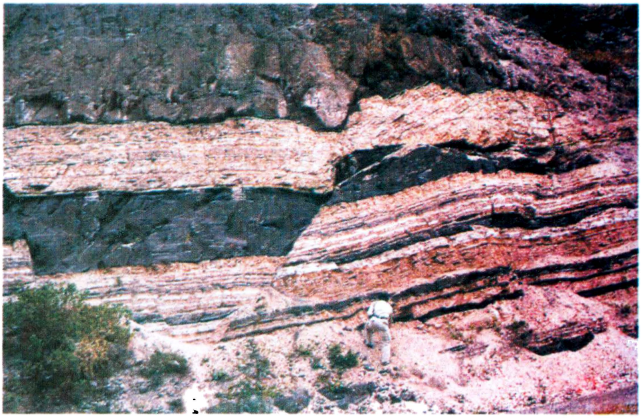


شکل ۱۱

حرکات ناشی از زلزله در نزدیکی این گسل خیلی شدید نبوده است.

گسل Nojima که از میان زمین‌های منطقهٔ آواجی می‌گذرد، به حرکت در آمد. در تصویر بخش‌هایی از این گسل توسط ورق‌های آبی رنگی که آنرا پوشانده‌اند، نشان داده شده است. با وجود بروز شکستگی در حصار، یک خانه از نوع RC (بتن مسلح)که تنها ۳۰ سانتیمتر از گسل فاصله داشت سالم باقی ماند و دچار هیچ‌گونه صدمه‌ای نشد. بنابراین احتمال رخداد مواردی که درآن حرکات ناشی از زمین لرزه با وجود نزدیکی به گسل، شدید نباشد، ممکن می‌باشد. این خانه در حال حاضر بصورت بخشی از نمایشگاه زلزله در جزیره آواجی ژاپن درآمده و هر سال میلیون‌ها نفر از آن دیدن می‌نمایند.(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۲ حرکات ناشی از زلزله در نزدیکی این گسل خیلی شدید نبوده است.



۳⊲ نمونه فوق العاده جالب توجهی از یک گسل زلزله «در کنار جاده»

یک اثر جالب توجه از سطح یک «گسل زلزله» در کنار یک جاده

یک نمونه از گسل که در کنارهٔ شیب جاده قرار گرفته است. در کشور ژاپن، چنین نمونه‌های زیبایی از گسل به ندرت یافت می‌شود و دلیل این امر هوازدگی صخره‌ها توسط بارندگیهای شدید می‌باشد. امّا در مناطق خشک آمریکای جنوبی، نمونه‌های متعدد بسیار خوب توپوگرافی و زمین شناسی یافت می‌شود که می‌توان در کتابهای آموزشی از آنها استفاده کرد. (زلزله اکوادر، اکوادر، ۱۹۸۷)

٤⊲ بروز شکستگی در صخره سخت در اثر برش ناگهانی

ریزش یک صخرهٔ سخت در اثر برش ناگهانی

این گسل فعال باعث بروز زلزلهٔ ایزو - هانتو - اکی (از جزیرهٔ ایزو) شده است و همچنان که مشاهده می‌شود در راستای سطح سنگ لغزیده است. سنگهای سخت با شیب تند و تیز شده‌اند. یک شکستگی در صخره چیزی قریب به ۲۰ سانتیمتر اندازه گیری شده است. (علامت زرد رنگ) به دلیل اینکه گسل در زیر ساختمان حرکت کرده است بتن پی ساختمان شکسته است. با وجود این که گسل در زیر این قسمت حرکت داشته است، اما ریزشی در خود ساختمان نداشته‌ایم. این خرابی در«ایروزاکی» به وقوع پیوسته است.

(زلزله ایزو - اکی، ژاپن، ۱۹۷٤)

۵⊲تغییر شکل در سازه در اثر حرکات گسل زلزله

تغییر شکل در سازه‌ها، در اثر جابجایی گسل

در اثر لغزش گسل در زیر این منزل، خانه دچار تغییر شکل شده است. با دقت در عکس می‌توان تغییر شکل ایجاد شده در وضعیت خانه را با نگاه به لبه پله‌ها به وضوح دریافت.

(زلزله ایزو - هانتو - اکی، ژاپن، ۱۹۷٤)

۶⊳ عبور گسل زلزله از درون باغ

گسل زلزله از درون باغ عبور کرده است.

به خانه هیچ خسارتی وارد نشده است و این بدین دلیل است که گسل در زیر آن لغزشی نداشته است. هیچ شکستگی در شیشه پنجره ها بوجود نیامده است، با وجود اینکه بزرگی ۶/۹ برای این زلزله ثبت شده است، اما این نتیجه بدست آمده است که حرکت زمین حتی در نزدیک گسل سخت و جدی نبوده است.

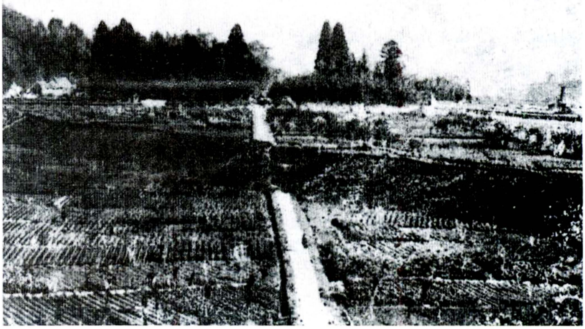
(زلزله ایزو- هانتو- اکی، ژاپن، ۱۹۷۴)

۷⊳ دو تکه شدن تنهٔ یک درخت در اثر حرکت یک گسل راستگرد

دو تکه شدن تنهٔ یک درخت در اثر حرکت یک گسل با لغزش افقی

زلزله‌ای با بزرگی ۷ ریشتر در قائن (منطقه‌ای در شرق ایران) رخ داد. در این تصویر مشاهده می‌کنیدکه یک گسل امتداد لغز راستگرد، که طولی در حدود ۱۱۰ کیلومتر داشته است، یک حرکت شمال به جنوب داشته است که اثرات آن در سطح زمین قابل رؤیت است. در نتیجه این امر، تنهٔ یک درخت از وسط جدا و به دو نیم تقسیم بندی شده است.

(زلزله قائن، ایران، ۱۹۹۷)

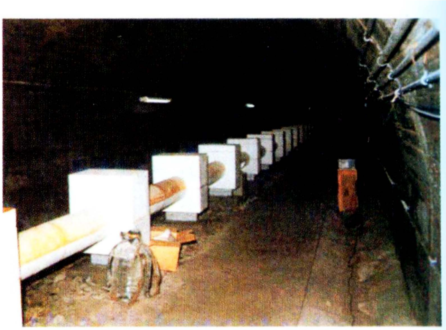


۸⊳ گسل نئودانی در زلزلهٔ نوبی

گسل نئودانی از زلزله نوبی

این عکس در نزدیکی «Midor» گرفته شده است که زلزله‌ای در آن به وقوع پیوسته است و باعث ایجاد آن گسل نئودانی بوده است. (سال ۱۸۹۱) طول گسل از طرف شمال غربی به جنوب شرقی بالغ بر Km ۸۰ می‌باشد. جابجایی عمودی که در اثر زلزله در سطح زمین رخ داده در حدود ٦ متر و جابجایی افقی در حدود ٤ متر بوده است.

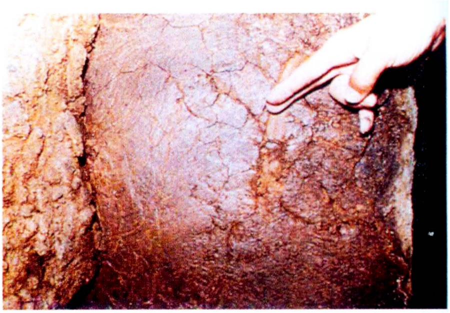
(زلزله نوبی، ژاپن، ۱۸۹۱)



۹ اندازه گیری کرنش خطی زمین

اندازه‌گیری کرنش خطی زمین

در اثر کرنش ایجاد شده در میله‌های فولادی که تحت اثر تغییرات درجه حرارت نیستند و درون یک لولهٔ بلند در گمانه‌های افقی در سنگ قرار گرفته‌اند، تغییر شکل زمین قابل اندازه‌گیری می‌باشد. (ماتسو شیرو، ژاپن)



۱۰ خرد شدگی ناشی از گسل

خرد شدگی ناشی از گسل (Fault gouge)

از آنجایی که لغزش یک گسل فعال معمولاً ایجاد زلزله می‌نماید، صخره‌ای که در طول سطح لغزش واقع شده دچار خراشیدگی‌هایی در سطح خود می‌شود. به دلیل اینکه رس معمولاً با سنگریزه‌ها مخلوط می‌شود و این ذرات باعث خراشیدگی در سطح رس می‌شوند، لذا از خراشیدگیها می‌توانیم برای ردیابی مسیری که در اثر لغزش گسل در صخره ایجاد می‌شود، استفاده نماییم. این عکس خراشیدگیها را در رس نشان می‌دهد که با توجه به آن جابجایی صخره قابل اندازه گیری است.

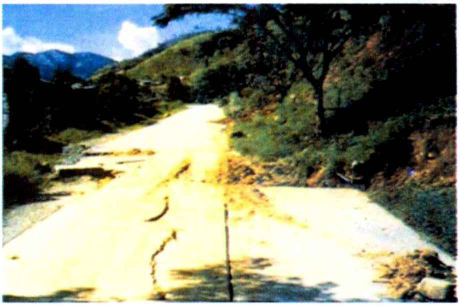
(زلزله ایزو-هانتو-اکی، ژاپن، ۱۹۷٤)

۱۱ ویرانی خانه‌های واقع بر گسل

ویرانی خانه‌های واقع بر روی گسل

این محوطه مربوط به یک خانه قدیمی می‌باشد که در اثر زلزلهٔ ناشی از یک گسل راست لغز در زیر آن دچار خسارت شدید و تغییر مکان شده است. با دقت و بررسی در چگونگی ایجاد شکستگی‌ها در زمین این نکته دریافت می‌شود که گسل نسبت به طرف راست مرکز در جلو جابجا شده و پی بتنی ساختمان در اثر گردش در جهت عقربه‌های ساعت، کاملاً خراب شده است. این خسارتی است که به سبب گسل ایروزاکی به وقوع پیوسته است.

(زلزله ایزو-هانتو-اُکی، ژاپن، ۱۹۷۹)



۱۲◀ تقاطع گسل با یک خیابان

تقاطع گسل با یک خیابان

۵ متر جابجایی به سمت چپ در سطح این جاده مشاهده می‌شود. این گسلی است که در شمال کاپیتالان، مرکز جزیرهٔ لازون واقع شده است. (زلزله جزیره لازون، فیلیپین، ۱۹۹۰)

با وجود تنها یک متر فاصله از گسل، هیچ‌گونه خسارتی رخ نداد.

در زلزله جی - جی تایوان، یک گسل معکوس به طول ۸۰ کیلومتر (جابجایی عمودی ۲ تا ۸ متر) در منطقه مرکزی تایوان ظاهر شد. با وجودی که سازه‌های واقع بر روی گسل به کلی ویران شدند، اما هیچ گونه خسارتی به مناطق با فاصله یک متر از گسل وارد نشد. (خصوصاً در اطراف گسل پایینی) البته در برخی از مناطق با وجود فاصله زیاد از گسل، به دلیل دارا بودن خاک نرم و مجاورت با کوهستان (خصوصاً در اطراف پرتگاه‌ها) پدیدهٔ تشدید رخ داد و خسارات بسیار زیادی به وقوع پیوست.(زلزله جی ـ جی، تایوان، ۱۹۹۹)

۱۳◀ با وجود تنها یک متر فاصله از گسل، هیچ‌گونه خسارتی رخ نداد.

۱۴◀ظهور گسل در یک مزرعه

ظهور گسل در یک مزرعه

در اثر وقوع یک زلزله گسلی به طول صدها کیلومتر در زمین یک منطقه پدید آمده است. قسمتی (از زمین) که در این عکس مشاهده می‌شود به سمت راست جابجایی داشته است و باعث تقسیم زمین کشاورزی به ۲ قسمت توسط یک خط مستقیم شده است. جابجایی در حدود ۶ متر است و این گسلی است که در شمال ایماگان، مرکز جزیره لازون واقع شده است. (جزیرهٔ لازون، فیلیپین، ۱۹۹۰)

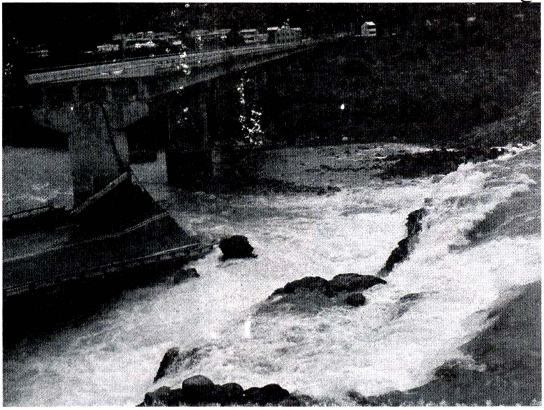
امکان مقاومت برای هیچ یک از سازه‌هایی که مستقیماً برروی یک گسل واقع شده‌اند، وجود ندارد.

به دلیل آنکه حرکت گسل درست زیر این منبع آب رخ داده است، لذا جابجایی در حدود ۸ متر به وقوع پیوسته است.
(زلزله جی - جی، تایوان، ۱۹۹۹)

۱۵ـ امکان مقاومت برای هیچ یک از سازه‌هایی که مستقیماً برروی یک گسل واقع شده‌اند، وجود ندارد.

یک گسل باعث پدید آمدن آبشار شد.

عبور گسل از زیر رودخانه، باعث بروز جابجایی بزرگی در حدود ۶ متر شده است که در نتیجه آن یک آبشار پدید آمده است. فروریختن تیرهای پل و خرابی آن به دلیل بالاآمدگی قسمت جلویی پل بوده است.
(زلزله جی - جی، تایوان،۱۹۹۹)



۱۶ـ یک گسل باعث پدید آمدن آبشار شد.

ساختمانی بدون خرابی در مجاورت گسل

به دلیل اینکه ۵ متر جابجایی گسل دقیقاً در زیر خانهٔ وسط عکس اتفاق افتاده است، خسارت قابل توجهی به این ساختمان وارد آمده است، اما هیچ گونه خسارتی به ساختمان سمت چپ به دلیل عدم قرار گرفتن روی گسل، وارد نشده است.

گفته می‌شود که پروفسور ناکاتا از دانشگاه هیروشیما، کسی که سالهای طولانی در کشور فیلیپین دربارهٔ گسل‌ها تحقیق کرده است، خانهٔ خسارت دیده و همچنین زمین این محوطه را به قیمت حدود ۷۰۰ دلار خریداری کرده است تا محل بروز گسل برای آینده نگهداری شود. این گسل در بانگایون، مرکز جزیره لازون واقع شده است. (زلزله جزیره لازون، فیلیپین، ۱۹۹۰)

۱۷ـ ساختمان بدون خرابی در مجاورت گسل

در نقاطی که مستقیماً برروی گسل واقع شده‌اند، هیچ امیدی وجود نخواهد داشت.

در هنگامی که گسل شکل قبل تا یک متری ساختمان به حرکت در آمد هیچ‌گونه خسارتی به وقوع نپیوست، اما وقتی که حرکت گسل دقیقاً در زیر سازه رخ داد، خسارات مرگبار به وقوع پیوست.
(زلزله کوکایی، ترکیه، ۱۹۹۹)

۱۸ ◄ در نقاطی که مستقیماً برروی گسل واقع شده‌اند، هیچ امیدی وجود نخواهد داشت.

لغزش یک گسل راستلغز و ایجاد برش در حصار های سنگی

این گسل راستلغز با لغزش افقی که یک جابجایی افقی در حدود دو متر داشته است، باعث ایجاد برش‌های تندی در حصارهای سنگی و درختان منطقه شده است. در اثر جابجایی این گسل لوله‌های مدفون در زیر زمین هم دچار آسیب‌دیدگی شدند.
(زلزله کوجائلی، ترکیه، ۱۹۹۹)

۱۹ ◄ لغزش یک گسل راستلغز و ایجاد برش در حصار های سنگی

فصل سوم

حرکت امواج زلزله

لرزه‌های ناشی از یک زلزله در اثر شکستگی یک «گسل لرزه‌زا» بوجود می‌آید و به شکل موج در زمین انتشار می‌یابد. در حالت کلی، به این امواج، «امواج زلزله» گفته می‌شود. هنگامی که این امواج از کانون زلزله منتشر می‌شوند، تا رسیدن به محل ثبت امواج (در سطح زمین) با یکدیگر ترکیب می‌شوند و ویژگیهای گوناگونی پیدا می‌کنند.

■ اهمیت شناخت ویژگیهای امواج

گسل که در واقع نماد ضعیفترین قسمتهای پوسته در مناطق مختلف می‌باشد، اولین بار در اثر شکست بخشی از داخل پوسته در اعماق زمین و گسترش آن به سطح زمین بوجود می‌آید. کرنش یا همان تغییرشکل نسبی ایجاد شده در داخل پوسته در یک منطقه، وقتی از حد مقاومت سنگهای داخل پوسته تجاوز نمود، در ابتدا یک شکستگی موضعی در داخل زمین بوجود آمده و در مراحل بعدی باتوجه به تفاوت مقاومت سنگها و زبری سطح شکست به مرور افزایش می‌یابد تا بخش عمده‌ای از انرژی ذخیره شده در پوستهٔ زمین از طریق شکست گسل و گسترش منطقه شکسته‌شده، آزاد گردد.

این نحوهٔ شکست باعث می‌گردد تا امواج انرژی در درون زمین منتشر شده و باعث ارتعاش نقاط مختلف پوسته گردند. این امواج به حالت سه‌بعدی و کروی از محل شکست که همان کانون (مرکز زیرسطحی) می‌باشد، منتشر می‌شوند. باتوجه به اینکه امواج مختلفی با ویژگیهای متفاوت بوجود می‌آیند تفاوت ویژگیهای این امواج کمک زیادی به شناسایی لرزهٔ بوجود آمده و آمادگی جهت مقابله اضطراری نموده است.

در اینجا به چند نکته مهم در این رابطه اشاره می‌گردد:

الف) همانطور که در متن اصلی توضیح داده شده است امواج دارای تقسیم‌بندی حجمی و سطحی هستند که امواج حجمی به دو نوع امواج اولیه (امواج P) و امواج ثانویه (امواج S) و امواج سطحی به دو نوع امواج «رایلی» و امواج «لاو» تقسیم می‌گردند. تفاوت ثبت امواج در داخل زمین نزدیک سنگ کف و در سطح زمین (لایه سطحی زمین) بیانگر وجود امواجی در سطح بوده که در عمق دیده نشده است. همین امواج سطحی عامل مهمی در ایجاد خرابیهای سازه‌ها و بویژه سازه‌های مدفون نظیر خطوط لوله و تونلها می‌باشد.

ب) تفاوت سرعت امواج اولیه و ثانویه در محاسبه کانون زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ج) با توجه به اینکه امواج اولیه P دارای سرعتی حدود دو برابر امواج ثانویه S می‌باشد و در ضمن امواج P تأثیر زیادی در خرابی سازه‌ها ندارد و بالعکس امواج S و امواج سطحی رایلی و لاو تأثیر زیادی در آسیب سازه‌ها دارند، می‌توان از اختلاف سرعت این امواج برای مقابله با زلزله، درست بعد از وقوع آن استفاده نمود.

د) اگر لرزه‌نگارها وقوع زلزله را مخابره نمایند، سایر مراکز مقابله با زلزله از طریق امواج الکترومغناطیس آگاه شده و تا رسیدن امواج ثانویه که عامل اصلی تخریب تأسیسات می‌باشند می‌توانند در همان ثانیه‌های اول نسبت به قطع جریانات آب، گاز، برق و کنترل موارد مختلف که از قبل مجهز به سیستم کنترل از راه دور یا کنترل اتوماتیک شده‌اند، اقدام نمایند.

نحوه حرکت یک نقطه از زمین

در مورد درک بهتر از حرکت زمین در هنگام زلزله و پرهیز از اشتباه در تمایز آن با انتشار موج چندنکته زیر را متذکر می‌گردد:

الف) حرکت یک نقطه از زمین در حالت کلی، یک حرکت سه‌بعدی می‌باشد و آن نقطه تنها در محل خود به سمت‌های مختلف حرکت می‌نماید و در نهایت در همان نزدیکی محل قبلی خود ساکن می‌گردد. لذا این تصور که نقطه‌ای از زمین در انتشار موج همراه با موج منتقل می‌گردد، یک تصور اشتباه است.

ب) برای درک بهتر اگر به یک تسبیح و دانه‌هایش یک حرکت ترکه‌ای عمود بر نخ تسبیح بدهیم، دانه‌های تسبیح عمود بر نخ تسبیح بالا و پائین می‌روند. در حالیکه به صورت کلی وقتی به تسبیح نگاه می‌کنیم در راستای نخ خود، دارای یک حرکت موجی سینوسی می‌باشد. این مثال بخوبی حرکت نقاط زمین در انتشار امواج ثانویه S را نشان می‌دهد.

ج) برای درک بهتر از حرکت زمین در انتشار امواج P ، بهتر است فنری را که از دست شما آویزان شده است و بعد شما آنرا در راستای فنر بطور قائم به ارتعاش درآورده‌اید، درنظر بگیرید. این بار یک نقطه از فنر در همان جهت ارتعاش و انتشار موج جابجا شده و بالا و پائین می‌رود.

د) سینوسی بودن ارتعاش زمین در دامنهٔ زمان می‌باشد و نه در دامنه مکان. یعنی جابجایی یک نقطه از زمین در هنگام زلزله بسیار پیچیده می‌باشد لیکن ترسیم آن نسبت به زمان تقریباً یک شکل سینوسی بدست می‌دهد.

■ نوع و چگونگی امواج زلزله

دسته بندی امواج زلزله:

انواع مختلفی از امواج زلزله به شرح زیر وجود دارند که در پوسته منتشر می‌شوند:

امواج زلزله

- **امواج حجمی:** مستقیماً از کانون به نقطهٔ مشاهده حرکت می نمایند.
  - **الف) موج P (امواج اولیه)**(موج فشاری یا موج طولی)
  - **ب) موج S (امواج ثانویه)**(موج برشی یا موج عرضی) این موج مهمترین موج برای سازه‌ها می باشد
    - موج SV
    - موج SH
- **امواج سطحی:** ابتدا با سطح زمین تماس پیدا می‌کنند و سپس در امتداد سطح حرکت می‌کنند.
  - **الف) موج رایلی (Rayleigh):** امواج رایلی شبیه به امواج اقیانوسها هستند که در یک صفحه قائم و در جهت انتشار امواج حرکت می‌نمایند. این امواج باعث ایجاد لرزه‌های شدید در سطح زمین می‌شوند ولی به سرعت هم میرا می‌گردند.
  - **ب) موج لاو:** امواج لاو از پهلو به پهلو در یک زمین لایه لایه به

ترتیب امواج زلزله از لحاظ فرکانس بدین شکل می‌باشد:

فرکانس موج سطحی < فرکانس موج S < فرکانس موج P

فرکانس که در واقع تعداد امواجی است که در یک محدودهٔ زمانی تکرار می‌شوند، یکی از پارامترهایی است که امواج بر اساس آن دسته بندی می‌شوند. در حالت کلی، تعداد امواج در واحد ثانیه بیان می‌شوند و واحد آن هرتز (HZ) بوده و به ترتیب فوق می‌باشند.

پریود امواج زلزله از بلند به کوتاه بدین ترتیب است: موج P < موج S < موج سطحی

پریود موج به زمانی گفته می‌شود که در آن زمان، موج یکبار تکرار می‌شود. رابطه پریود موج (T) و فرکانس موج f، با یکدیگر چنین است:T=۱/f

به دلیل اینکه ترتیب دسته بندی امواج از لحاظ فرکانس بالا به پایین بدین شکل است : موج سطحی < موج S < موج P

لذا ترتیب دسته بندی پریود امواج از بلند به کوتاه چنین می‌شود: موج P < موج S < موج سطحی

استهلاک امواج بدین ترتیب می‌باشد: موج سطحی < موج S < موج P

امواج در طول زمان انتشار در محیط،کوچک و کوچکتر می شوند و دلیل آن استهلاک انرژی امواج می‌باشد. به این پدیده «میرایی امواج» گفته می‌شود. یک موج با فرکانس بالا دارای درجه میرایی بیشتری است و این امر بر این فرضیه بنا نهاده شده است که تمام امواج در یک سیکل حرکتی، انرژی مساوی مصرف می نمایند. درنتیجه اگر یک موج P که در یک درجه بالا میرا می‌شود دارای یک موج ابتدایی بزرگ باشد، فاصلهٔ انتشار آن کوتاه می شود.

ترتیب قرارگیری امواج از لحاظ سرعت انتشار بدین شکل می‌باشد: موج سطحی < موج S < موج P

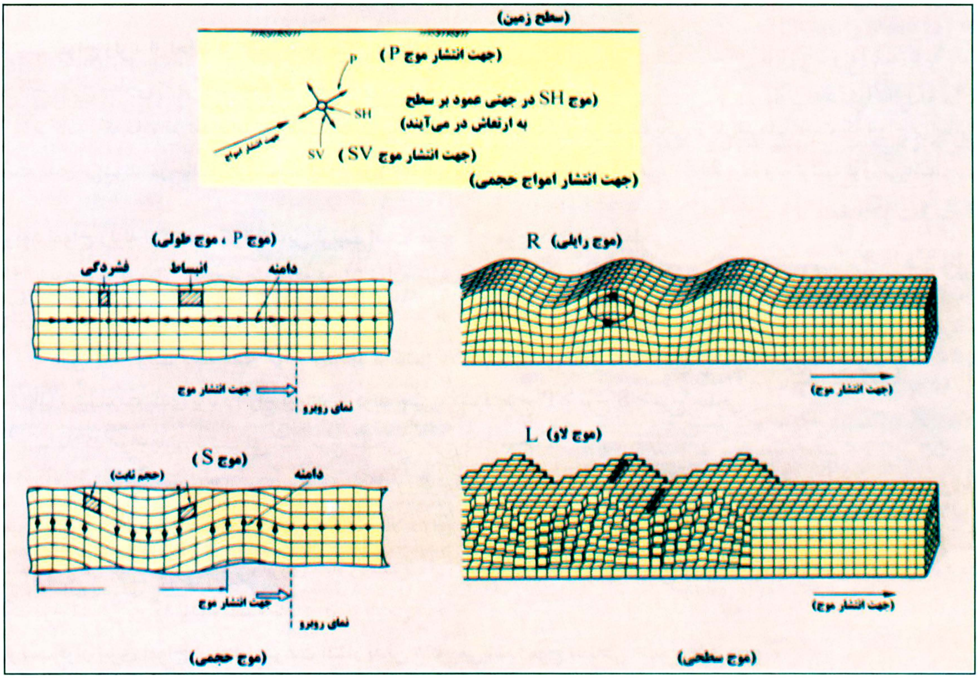
از تفاوت سرعت انتشار امواج مختلف می‌توان استفاده نمود و یک تخمین تقریبی از فاصله کانون زلزله تا محل مشاهده (محل ثبت موج زلزله) بدست آورد. این اختلاف زمانی بین زمانیکه ارتعاش اولیه زلزله احساس می‌گردد و زمان دریافت اولین موج بزرگ در راستای افقی (موج S) به ثانیه محاسبه می‌شود. این اختلاف زمانی در ٦ ضرب شده و بعد به کیلومتر تبدیل می‌شود تا فاصلهٔ کانونی را بدست بدهد.

■ انعکاس و انکسار امواج لرزه‌ای

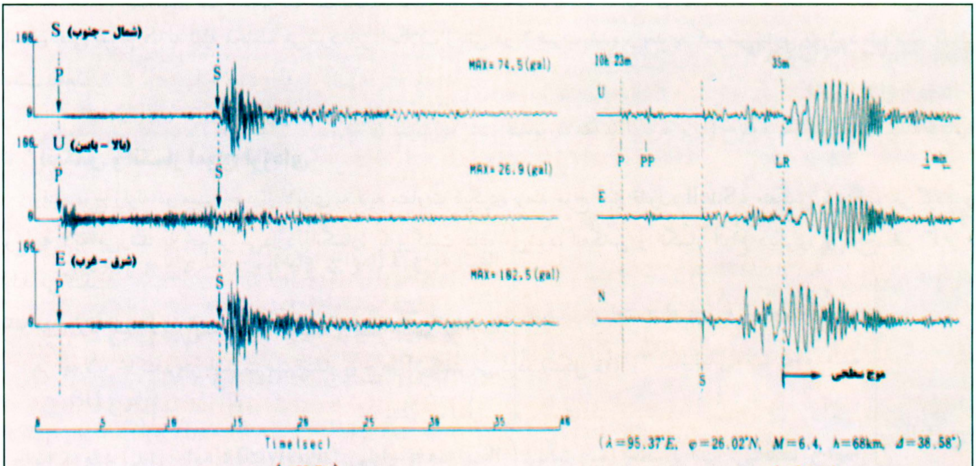
وقتی موج زلزله در مسیر خود از لایه‌ای به لایه متفاوت دیگری برسد موج طبق قانون« Snell » منعکس یا منکسر می‌گردد. وقتی موج به لایه می‌رسد یا خم بر می‌دارد (انکسار) یا برگشت داده می‌شود. انعکاس و انکسار انواع دیگری از موج نظیر P و یا S تولید می‌کنند.

یک موج لرزه‌ای در راستای سرعت انتشار،کمتر خم می‌گردد.

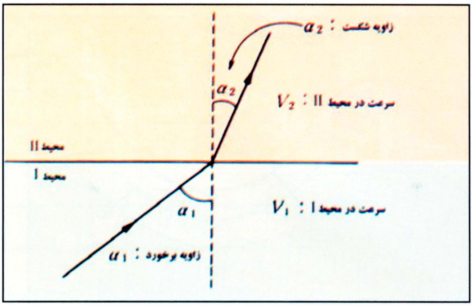
هر چه لایه خاک نرمتر باشد سرعت انتشار موج در آن کمتر می‌گردد.(شکل ١٤)



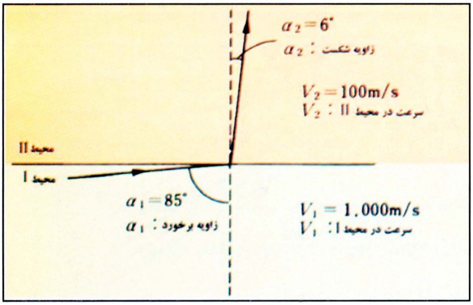
شکل ۱۲) مکانیسم انتشار امواج لرزه‌ای



شکل ۱۳) ثبت نتایج یک حرکت لرزه‌ای قوی: آنچه مشاهده می‌نمائید نتایج ثبت شده در مورد شتاب یک حرکت قوی لرزه‌ای می‌باشد که توسط یک دستگاه شتاب نگار که در پی ساختمان مؤسسه مطالعات زلزله توکیو قرار داشته است، ثبت شده است (۲ فوریه ۱۹۹۲). زلزله دارای بزرگی ۵/۹ و شدت ۵ (از مقیاس JMA) بوده و عمق کانونی در ۹۳ کیلومتری زیر زمین قرار داشته است. آخرین زلزله‌ای که دارای شدت ۵ بوده است، شش سال و نیم پیش از این لرزه رخ داده بود.



شکل ۱۴



شکل ۱۵

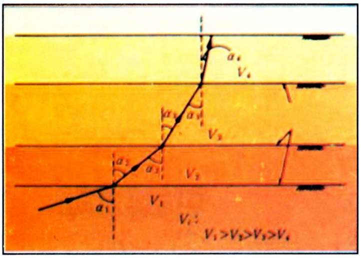
در یک زمین نرم، موج لرزه‌ای مستقیماً از زیر لایه نرم منتشر می‌شود.

برای مثال، وقتی زاویه انتشار α_1=۸۵° باشد و سرعت‌های انتشار از محیط I به محیط II به ترتیب V_1=۱۰۰۰ m/s و V_2=۱۰۰ m/s فرض شود، زاویه شکست α_1=۶° می گردد. (شکل ۱۵)

مطابق مثال، وقتی نسبت سرعتها V_2/V_1 حدود ۰/۱ باشد، یک موج حتی اگر افقی سیر کند، با زاویه ۶ درجه به سوی سطح صعود می‌کند. این تقریباً همانند آن است که موج به صورت عمودی حرکت نماید.

اگر موج از مجموعه‌ای از لایه‌ها عبور نماید،میزان انحناء مسیر آن بستگی به نسبت سرعت انتشار در نرمترین و سخت‌ترین لایه‌ها دارد.

وقتی تعداد زیادی لایه موجود باشد، موارد زیادی وجود دارد که نسبت کمترین سرعت انتشار موج به بیشترین سرعت (V_n/V_1) حدود ۰/۱ می‌باشد. بنابراین راستای انتشار امواج لرزه‌ای را می‌توان به این ترتیب فرض نمود که بطور مستقیم از زیر لایه نرم و با نسبت سرعت V_n/V_1= ۰/۱ رو به سطح انتشار می‌یابد. (شکل ۱۶)



شکل ۱۶) انتشار موج در چند لایه مختلف

امواج اقیانوسی رو به ساحل

سرعتی که امواج اقیانوسی با آن حرکت می‌کنند از معادله زیر تعیین می‌شود:

$$V = \sqrt{gh}$$

که در آن:

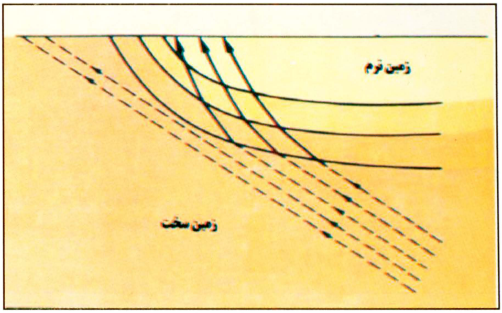
g : شتاب ثقل برابر ۹/۸ m/s^2

h : عمق آب برحسب متر.

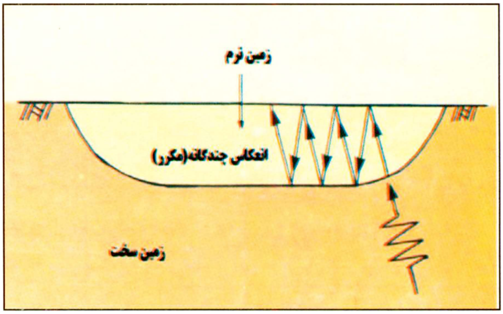
در نزدیکی سواحل، امواج در جهات مختلف منتشر می شوند، اما از آنجایی که عمق اقیانوسها در نزدیکی ساحل کم می‌شود(سرعت انتشار امواج کم می‌گردد) لذا جهت حرکت امواج دچار خمیدگی‌هایی شده و این امر باعث می‌شود که امواج تحت زاویه قائمه با خطوط ساحلی برخورد کنند. (شکل ۱۷) دقیقا پدیده‌ای مشابه همین امر زمانی که امواج لرزه‌ای تحت زاویه قائمه به خاک نرم می‌رسند، اتفاق می‌افتد.

در زمینهای نرم امواج P دارای حرکت عمودی و امواج S دارای حرکت افقی می‌باشند.

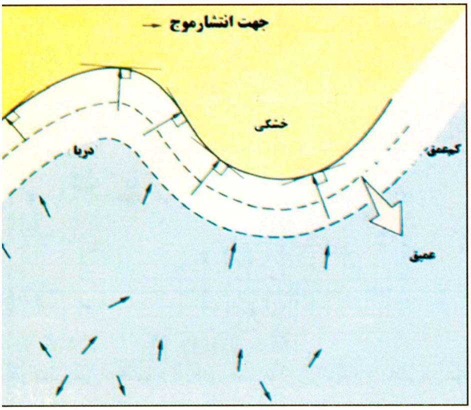
قسمتهای بیرونی و بالایی سطح زمین، نرم‌تر از لایه‌های پایینی می‌باشند. امواج لرزه‌ای تحت زاویه قائمه منتشر می‌شوند و هنگامی که به لایه سطحی می‌رسند اتفاقی شبیه به امواج دریا در زمان برخورد به خطوط ساحل برایشان رخ می‌دهد. بنابراین، چنین احساس می‌شود که امواج P دارای حرکت عمودی بوده و امواج S دارای حرکت افقی می‌باشند.



شکل۱۸



شکل۱۹



شکل۱۷

■ اثرات ساختگاه بر حرکات لرزه‌ای

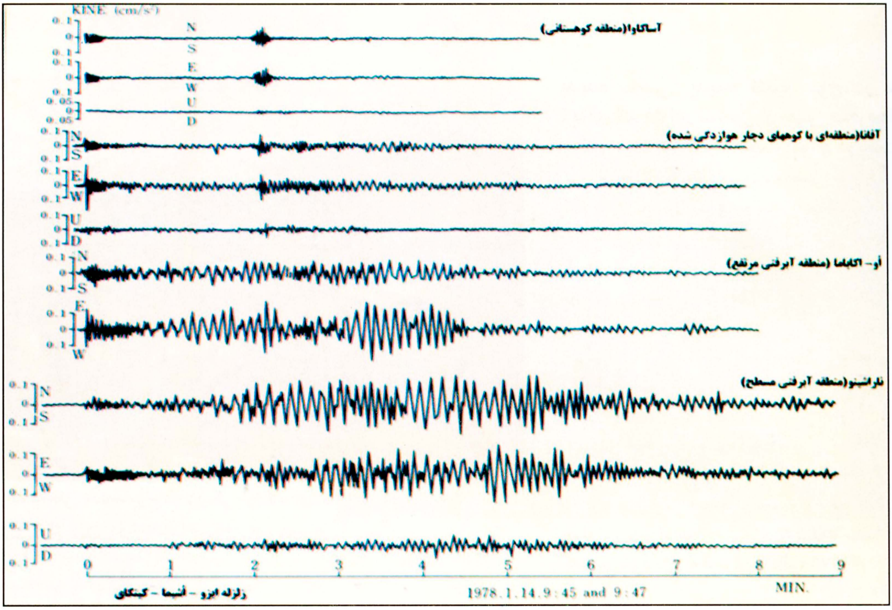
پدیدهٔ کانونی

امواج لرزه‌ای به هنگام عبور از یک زمین سخت که بخشهایی از آن را خاک نرم پوشانده باشد (خاک نرمی که در اثر نرم شدن تدریجی منطقه سخت بوجود آمده‌اند.) به طرف خاک نرم منحرف می‌شوند. (مانند امواجی که با خطوط نقطه‌چین در شکل نشان داده شده است.) (شکل ۱۸) به همان طریق که امواج نور توسط یک ذره‌بین منحرف شده و در یک نقطه همگرا می‌شوند، به همین طریق امواج زلزله نیز منحرف شده و در یک نقطه متمرکز می‌شوند. این امر را «پدیدهٔ کانونی» می‌نامند. منطقه‌ای که در آن امواج لرزه‌ای متمرکز می‌شوند، دچار نوسانات بسیار شدیدی می گردد.

حرکت امواج لرزه‌ای در مسیر یک طرفه و از خاک سخت به خاک نرم می‌باشد.

امواج زلزله به راحتی از زمین نرم به زمین سخت وارد نمی‌شوند و لذا بخش زیادی از امواج در منطقهٔ نرم دچار انعکاس مکرر می‌شوند. از طریق دیگر، امواج لرزه‌ای به راحتی از زمین سخت وارد زمین نرم می‌شوند. به طوری که به نظر می‌رسد که حرکت امواج در یک مسیر یک طرفه صورت می‌پذیرد. در نتیجه امواج لرزه‌ای که وارد منطقهٔ نرم شده‌اند متحمل انعکاسهای مکرر در این منطقه از زمین می‌شوند و به سختی میرا می گردند. (انعکاس چندگانه) (شکل ۱۹)

انعکاسهای چندگانه منجر به ← پدیده رزونانس (تشدید) در خاک / ← طولانی شدن مدت لرزه — می‌شوند.



شکل ۲۰) اثرات ساختگاه بر حرکات لرزه‌ای

شکل ۲۰ نتایج ثبت شده در خصوص سرعت امواج لرزه‌ای در چند منطقهٔ اطراف توکیو را بیان می‌کند: آساکاوا (منطقه کوهستانی)، آفانا (منطقه‌ای با کوههای دچار هوازدگی شده)، او-اکایاما (منطقهٔ مرتفع آبرفتی)، ناراشینو (منطهٔ آبرفتی مسطح)

ثبت نتایج به طور همزمان و توسط دستگاههای اندازه‌گیری یکسان صورت پذیرفته است. مشاهده می‌شود که مدت زمان لرزه در ناراشینو، که زمین آن پوشیده از خاک نرم با ضخامت اندک است، بالاتر از سایر مناطق که دارای ساختگاههای سخت‌تری هستند، بوده است. افزون بر این، امواج ثبت شده در ناراشینو دارای دامنه بزرگی بوده و به طور تقریبی در یک پریود یکنواخت (شبیه امواج سینوسی) به ارتعاش در آمده‌اند.

لرزش ناشی از زمین‌لرزه در مناطق با خاک نرم که در مجاورت مناطق سخت واقع باشند، شدیدتر می‌گردد. برای مثال، در مناطق انتهایی یک دره یا آبگیر که در مجاورت کوههای سخت واقع باشند، شدت امواج زیادتر می‌گردد. (پدیدهٔ ساحلی)

در نزدیکی لبه خاک نرم، در جایی که ضخامت خاک نازکتر می‌گردد، شدت ارتعاشات امواج لرزه‌ای، به سطح بالاتری می‌رود که این امر به واسطه تمرکز انرژی رخ می‌دهد. این پدیده شبیه اتفاقی است که برای امواج دریا می‌افتد. امواج در مناطق کم عمق نزدیک به ساحل بیشتر از مناطق دورتر از ساحل وجود دارند.

نوسانات ناشی از زلزله در دشتهای حوزهٔ رودخانه‌ها، شدیدتر است.

این امر بخاطر همگرایی ناشی از «پدیدهٔ کانونی» و «انعکاس چندگانه» امواج می‌باشد.

لبهٔ پرتگاهها دچار لرزه‌ها و نوسانات شدیدتری می‌شوند.

در اثر پیکربندیهای زمین، شاهد اثرات مختلفی از حرکات زلزله هستیم. چنانچه در لبهٔ پرتگاهها و بالای دره‌های باریک، میزان ارتعاش و لرزش شدیدتر از مناطق پائین می‌گردد.

۲۰ ◄ پدیده ساحلی: تشدید موج در نزدیکی مرز لایه ای که دارای سطحی بیرون زده از جنس صخره های محکم است. این وضعیت مشابه وضعیت موج دریاست.

پدیده ساحلی: پدیده تشدید موج در مرز لایه‌ای که دارای سطحی از جنس صخره‌های محکم است، که مشابه وضعیت امواج دریاست.

اینجا «جمونا» است، محلی که در ۸۰ کیلومتری شمال شرقی ونیز واقع شده است. عکس از روی کوهی در نزدیکی محل گرفته شده است، که زمین در آن قسمت نسبتاً سخت و مابقی منطقه تا جایی که در چشم‌انداز قرار می گیرد دارای زمینی آبرفتی می‌باشد. خرابی و خسارت ناشی از زلزله در منطقه‌ای که در مجاورت زمین سخت قرار داشته است، متمرکز شده است. خسارت سنگین به زمین نرمی که در مجاورت زمین سخت قرار گرفته است، عموماً شبیه حادثه‌ای است که برای امواج بزرگ دریا در نزدیکی ساحل پدید می‌آید. لذا به حوادثی از این دست، پدیده ساحلی گفته می‌شود.(زلزله فریولی، ایتالیا، ۱۹۷۶)

۲۱ ◄ لرزش خاک نرم در حوزه محصور بین کوههای سخت

لرزش شدید خاک نرم در حوزه محصور بین کوههای سخت

این یک عکس هوایی است که از شهر هوراز گرفته شده است. هوراز در دشتی واقع شده است که اطراف آن را کوههای آندس در پرو احاطه کرده‌اند. در اطراف هوراز کوههای سخت و سنگی وجود دارند و زمین آن از رسوباتی تشکیل شده است که توسط رودخانه از کوهها حمل شده است و لذا دارای خاک نرمی می‌باشد.

شهر، توسط یک زلزله، همانند آب درون یک کاسه به شدت لرزیده است و تمامی شهر از بین رفته است. مشاهده می‌شود که یک بام سالم به سختی یافت می‌شود (زلزله پرو ، پرو ، ۱۹۷۰)

۲۱ ◄ ویرانی در واراس(شیلی)

خسارت در «واراس»

شهر به طور کلی ویران شده است. تنها از دیواره‌های آجری بخشهایی بر جا مانده وسایر قسمتهای دیوارها در کوچه‌ها فرو ریختند. لذا راههای باریک کوچه ها توسط مصالح خشت و آجر مسدود شد. از آنجایی که شهر دارای خیابانهایی باریک و کوچه‌هایی تنگ بود، همین امرسبب آسیب دیدگی مردمی بود که از خانه‌ها به بیرون فرار می‌کردند و بسیاری توسط مصالح سنگی دیوارها مجروح شدند. این زلزله‌ای بود که بیش از ده هزار نفر قربانی، تنها در این شهر بر جای گذاشت. (زلزله پرو، پرو، ۱۹۷۰)

۲۳➢ آسیب دیدن دو پل در اثر پدیده ساحلی

خرابی دو پل در اثر پدیدهٔ ساحلی

از لحاظ موقعیت جغرافیایی، این عکس نمایی است از یک کوه سنگی (از بالا) و رودخانه‌ای که از کنار آن در جریان است و یک دشت آبرفتی که در مجاورت رودخانه قرار گرفته است. دو پل بتنی بر روی رودخانه ساخته شده بود. پلی که در جلو قرار دارد توسط زلزله ۱۹۶۰ خراب شده است، و پلی که در عقب قرار دارد توسط یکی از زلزله‌های اخیر دچار خسارت شده است. عموم مردم ژاپن بر این اعتقادند که تعمیر یک پل خسارت دیده در یک زلزله گذشته، بدون از بین بردن باقیمانده‌های آن، امری عادی است، این بدین خاطر است که عموم مردم ژاپن به نظم و دوباره‌سازی بسیار علاقه‌مندند.

به دلیل اینکه منطقه‌ای که در مجاورت کوه سنگی واقع شده است دچار خسارت شدیدتری گردیده است لذا می‌توان این را نمونه‌ای از «پدیدهٔ ساحلی» دانست. این عکس از منطقه‌ای است در نزدیکی بندر «سان آنتونیو».
(زلزله شیلی، شیلی، ۱۹۸۵)

نشست ناهمگون شهر مکزیکوسیتی

در مکزیکوسیتی لایهٔ بسیار نرمی از خاک به ضخامت ۱۰ متر، در سطح زمین وجود دارد و دلیل این امر، این است که شهر بر روی محوطه‌ای ساخته شده که در گذشته دریاچه‌ای بوده و بعدها پر شده است. بنابراین، هنگامی که ساختمانهای سنگین وزن بر روی زمین ساخته شدند سطح زمین دچار نشست شده و دلیل آن خروج آب موجود از میان ذرات خاک بوده است. در بعضی از مناطق شهر، میزان نشست نهایی حتی به ۱۰ متر هم می‌رسد. هنگامی که ساختمانها ساخته می‌شدند، در خیابان افقی به نظر می‌رسیدند، اما هم اکنون دیگر خیابان در یک سطح نیست و دلیل آن نشست ناهمگون در طول دهه‌های گذشته می‌باشد.
(زلزله میچوکان، مکزیک، ۱۹۸۵)

۲٤➢ نشست ناهمگون شهر مکزیکوسیتی

تمرکز خسارات شدید در منطقه‌ای که در دامنه کوه «روکو» واقع شده بود.

منطقه‌ای را که در عکس مشاهده می‌نمایید، تکان‌های بسیار شدید لرزه‌ای را در اثر زلزله کوبه تجربه کرد. این زمین لرزه دارای شدت ۷ براساس جداول آژانس هواشناسی ژاپن (JMA) بوده است که معادل شدت۱۱-۱۰ براساس مقیاس رایج مرکالی اصلاح شده(MM) می‌باشد. بروز زلزله‌ای با این شدت از زمان ایجاد مقیاس لرزه‌ای ژاپن، برای اولین بار بوده است.این امر منطقه‌ای کمربند مانند را که حداکثر پهنای آن ۱ کیلومتر بوده و جنس زمین آن رسوبات آبرفتی است و در اطراف کوه‌های روکو واقع می‌باشد، در برگرفت.

۲۵ تمرکز خسارات شدید در منطقه‌ای که در دامنه کوه «روکو» واقع شده بود.

کوهستان‌های روکو بر روی صخره‌های سخت و محکمی واقع شده‌اند. اما زمین اطراف آن در محدوده‌ای به پهنای یک کیلومتر از جنس خاک‌های آبرفتی است و فاصله بین کوه تا دریا را پرکرده است. به دلیل این شکل ساختار زمین احتمالاً امواج زلزله‌ای که از زیر وارد می‌شود منحرف شده و ضمن روی هم افتادگی با امواج منطقهٔ نرم باعث ایجاد پدیده «تشدید» در حرکات لرزه ای این منطقهٔ باریک شده و لذا تمرکز خسارات در این منطقه شدید بوده است.

در این شکل همچنین مشاهده می کنید که طبقه همکف ساختمان ها بیشتر دچار خسارت می گردد .

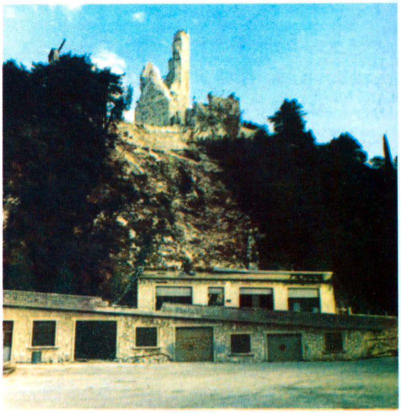
(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

عدم بروز هر گونه خسارت‌های جدی در منطقه‌ای که تنها ۳۰۰ متر بالاتر از مناطق تصویر قبل بود.

همچنان که دیده می‌شود، منطقه‌ای که تنها ۳۰۰ متر بالاتر از مناطق نشان داده شده در تصویر قبل بوده و در دامنه کوه‌های روکو واقع شده بود، دچار هیچ‌گونه خسارات جدی ناشی از زلزله‌ای با شدت ۷ نگردید. این میزان تفاوت در خسارات بسیار تعجب برانگیز می‌باشد. توجه کنید که حتی حصارهای سنگی خانه‌ها (که ضعیفترین بخش ساختمان‌ها در برابر زلزله می‌باشند) سالم برجای باقی مانده است. این امر بیانگر تفاوت بروز پدیده «تشدید» در مناطقی است که ساختار زیر زمینی آنها مانند شکل قبل می‌باشد یا عدم بروز آن در مناطقی که مانند این تصویر هستند .

(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۲۶ عدم بروز هر گونه خسارت‌های جدی در منطقه‌ای که تنها ۳۰۰ متر بالاتر از مناطق تصویر قبل بود.



۲۷◄ خطر در نزدیکی صخره‌ها

خطر در نزدیکی صخره‌ها

حرکت زلزله متأثر از وضعیت جغرافیای منطقه می‌باشد. دامنه نوسانات در بالا و لبهٔ پرتگاه‌ها و صخره‌ها بیش از دامنه نوسانات پایین صخره می‌باشد. بنابراین، همچنانکه در عکس مشاهده می‌شود، ساختمان بالای صخره دچار فروریختگی شده است که دلیل آن همان نوسانات شدید می‌باشد و این امر باعث ریزش سنگها به پایین صخره نیز می‌گردد. در هر صورت، مناطق اطراف پرتگاه‌ها و صخره‌ها مناطق ایمنی نیستند. این خسارت در جمونا، منطقه‌ای در ۸۰ کیلومتری شمال شرقی ونیز رخ داده است.

(زلزله فریلی، ایتالیا، ۱۹۷۶)

۲۸◄ یک شهر ویران شده در بالای یک صخره

یک شهر ویران شده در بالای یک صخره

در جنوب ایتالیا، به دلیل اینکه اهالی مرتباً مورد هجوم اقوام دیگر نواحی واقع می‌شده‌اند، لذا شهر خود را در بالای صخره ساخته بودند تا بتوانند بدین وسیله در مواقع جنگ دارای برتری بوده و تهاجم دشمنان را راحتتر دفع کنند. این امر باعث شد تا شهر در هنگام زلزله تکانهای شدیدتری را نسبت به دشت های هموار اطراف تحمل کند و خرابی‌های بیشتری حادث گردد.علت اصلی این خرابی وسیع را می‌توان در شیب دار بودن، سستی صخره و ضعف خانه های روی آن جستجو نمود. (زلزله جنوب ایتالیا، ایتالیا، ۱۹۸۰)

۲۹◄ واژگونی یک زیارتگاه کوچک

واژگونی یک زیارتگاه کوچک

این معبد شینتو به عنوان یک مکان مذهبی برای افراد خداپرست بوده که به دلیل شدت لرزش نوسانات در تپه‌ها از جای خود کنده و ویران شد.

(ایزو - هانتو - اکی، ژاپن، ۱۹۷۴)

مسأله تشدید ارتعاش در خاک‌های نرم

زلزله سال ۱۹۸۵ در مکزیکوسیتی در ساحلی به طول ۴۰۰ کیلومتر به وقوع پیوست. در کشوری مثل ژاپن این بدان معناست که توکیو توسط زلزله‌ای که در ناگویا (حدود ۴۰۰ کیلومتری غرب توکیو) رخ داد، ویران شده باشد؛ و این خود باور نکردنی است. در طول زلزله بیشترین خسارتهای وارده بر روی ساختمانهای ۱۰ طبقه متمرکز شده بود و دلایل احتمالی آن به صورت زیر می‌باشد:

مکزیکوسیتی برروی منطقه‌ای ساخته شده است که در گذشته‌ها دریاچه‌ای در آن محل قرار داشته و بعدها این دریاچه پر شده است. لذا، خاک زمین دارای جنسی بسیار نرم بوده و شهر توسط امواجی بادامنه بالا دچار نوسان و لرزش می‌گردد که پریود این امواج تقریباً ۲ ثانیه بوده است. از آنجاییکه پریود طبیعی یک ساختمان ۱۰ طبقه در مکزیکوسیتی در حدود ۲ ثانیه می‌باشد، پدیده «رزونانس (تشدید)» رخ داد. عکسی که از شهر مکزیکوسیتی مشاهده می‌کنید از روی یک ساختمان ۴۰ طبقه بنام Latin American Building که دچار هیچ خسارتی نشد، گرفته شده است. با دقت در عکس، ساختمانهای خسارت دیدهٔ بسیاری قابل مشاهده است.

(زلزله میچوکان، مکزیکو، ۱۹۸۵)

۳۰> تشدید ارتعاش در خاکهای نرم

مشکل تشدید لرزش در بالای تپه

در ایتالیا (کشور مردم کاتولیک و خداترس) یک کلیسا در بالای تپه‌ای بنا شده بود و اطراف کلیسا با خانه‌های مردم احاطه گشته بود. به دلیل اینکه شدت حرکات زلزله در یک تپه شدیدتر است، لذا کلیسا ویران گشت. کلیسا دارای یک نقطه ضعف سازه‌ای در برابر زلزله می‌باشد و آن اینست که درساخت کلیساها به یک فضای بزرگ برای جا دادن شرکت کنندگان در مراسم احتیاج است، لذا نمی‌توان از ستونها و دیوارهای متعدد در ساخت کلیسا استفاده نمود. تعداد کم ستونها و عدم وجود دیوارهای باربر در بنای این قبیل سازه‌ها موجب ضعف سازه در برابر زلزله می‌گردد.

(زلزله فریلی، ایتالیا، ۱۹۷۶)

۳۱> مشکل تشدید لرزش در بالای تپه

پدیده تشدید لرزش در شیب‌ها

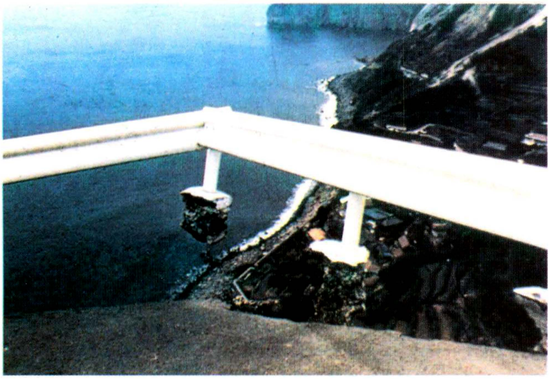
قبرستانی بر روی یک شیب بنا شده است. سنگ قبر بیشتر آرامگاه‌ها از جای خود خارج شده و سنگهای زیر ساخت ساختمانها در جای خود دچار دوران و یا لغزش شده‌اند. لرزش مناطق بلند جغرافیایی مثل شیب‌ها یا بالای صخره‌ها بسیار شدیدتر از زمین‌های مسطح می‌باشد.

(زلزله ایزو – اسیما – کینکای، ژاپن، ۱۹۷۸)

۳۲> [illegible]

کنده شدن نرده‌های محافظ جاده

خاکریز بزرگراهی که از درون کوه‌های غربی جزیره «ایزو» می‌گذشت، فروریخت و نردهٔ محافظی که تکیه گاه آن ناپدید شده بود در این وضعیت مشاهده شد.
(ایزو – هانتو – اکی، ژاپن، ۱۹۷۴)



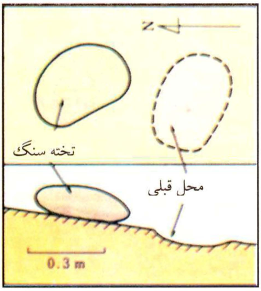
۳۳< کنده شدن نرده های محافظ جاده

پرتاب شدن سنگ مجاور گسل

یک گسل از درون شهر ریزال عبور کرده و باعث خرابی پل‌ها و جاده‌ها گردید. همانند عکس، نمونه‌های بسیاری از سنگهایی که از جای خود پرتاب شده بودند، برروی دره اطراف گسل قابل مشاهده بودند. از آنجایی که سنگ از مدفن خود به بیرون پرتاب شده بود، چنین به نظر می‌رسید که شتاب قابل توجهی بر روی سنگ اعمال شده است.

در نزدیکی گسل، بعضاً حوادث عجیب دیگری هم گزارش شد که نشان دهندهٔ شتاب زیاد اعمال شده (درحدی که منجر به پرتاب سنگها بشود) بودند اما از سویی دیگر، سازه‌هایی مانند خانه‌های چوبی که دارای مقداری تغییر شکل پذیری می‌باشند، درهمان محوطه دچار آسیب نشدند و این در واقع همان علت حوادثی چون خارج شدن سنگ آرامگاه‌ها از محلشان و یا پرتاب سنگها در هنگام بروز شتاب زیاد می‌باشد.حتی در مواقعی هم که زمان اعمال شتاب کم باشد سازه‌هایی همچون خانه‌های چوبی بدون پدیدهٔ « رزونانس» خراب نمی‌شوند.(حتی با شتاب ذکر شده در بالا)
(جزیزه لوزون، فیلیپین، ۱۹۹۰)

۳۴< پرتاب شدن سنگ مجاور گسل



فصل چهارم

خسارات وارده به زمین در اثر زلزله

در بین انواع مختلف مصالح ، خاک ضعیف‌ترین ماده در برابر حرکات زمین لرزه می‌باشد. خسارات ناشی از زمین لرزه‌های شدید به خاک شامل «روانگرایی» و «زمین لغزه (ریزش زمین) » می‌باشد.

■ مهندسی زلزله ژئوتکنیک

همانطوریکه در فصل اول نیز اشاره شد، یکی از شاخه‌های علوم زلزله، شاخه‌ای است که به بررسیهای رفتار خاک ، سازه‌های خاکی و راهکارهای خرابی و تقویت آنها در هنگام زلزله می‌باشد. این شاخه را مهندسی زلزله ژئوتکنیک نامیده و اخیراً نیز کتابهایی با همین عنوان به چاپ رسیده است.

این شاخه از مهندسی زلزله گرچه در طراحی‌ها و ساخت ساختمانهای معمولی نقش زیادی بازی نکرده‌اند و بدان توجهی نمی‌شود، لیکن در پروژه‌های بزرگ عمرانی، دارای جایگاه بسیار مهم و حساسی می‌باشد. در پروژه‌های مختلف عمرانی نظیر سدها، تونلها، مخازن، دکلها، برجها، نیروگاهها، سیلوها، پلها و شریانهای حیاتی، مهندسی ژئوتکنیک و بخش زلزله آن، مطالعات و طراحی‌های اساسی را انجام می‌دهد که مراحل بعدی با اتکاء بر آنها ادامه می‌یابد.

در مهندسی زلزله ژئوتکنیک اثرات زلزله روی خاک در دو قسمت مورد مطالعه قرار می‌گیرد:

الف) رفتار خاک ناشی از ارتعاش زمین که در آن حداکثر تغییر مکانها، سرعت‌ها و شتاب‌ها در لایه‌های مختلف، بویژه در سطح زمین و یا محلی که قرار است سازه‌ای در آن قرار گیرد مورد بررسی و محاسبه قرار می‌گیرد. این رفتار را رفتار دینامیکی خاک و اینگونه اثرات را اثرات دینامیکی زلزله در خاک می‌نامند.

ب) مطالعات و محاسبات دیگری که در مهندسی زلزله ژئوتکنیک صورت می‌گیرد، بررسی خرابیهای زمین و علل و نحوه تقویت یا مرمت آنها می‌باشد. از اهم این موارد که به آنها اثرات استاتیکی زلزله یا تغییر مکانهای ماندگار زمین می‌گویند عبارتند از:

- نشست‌های ناهمگن در سطح زمین
- گسلش یا گسیختگی زمین (در محل گسلها)
- زمین لغزه، سنگریزش
- روانگرایی که ناشی از بالارفتن فشار آب بین ذرات ماسه‌ریز (در زمینهای ماسه‌ای ریزدانه) که باعث روان‌شدن ماسه در آب می‌شود و منجر به حرکت لایه یا سازه‌های متکی بر آن می‌گردد.
- گسترش جانبی ناشی از روانگرایی در لایه‌های زیری که در این حالت لایه‌های رویی وارفته و به صورت جانبی گسیخته شده و حرکت می‌کنند.

ارتعاش زمین

محل وقوع اولین شکستگی سنگها در داخل زمین که کانون زلزله نامیده می‌شود حتی در کم‌عمق‌ترین حالتها، چندین کیلومتر در داخل زمین می‌باشد. حال اگر به مقاطع زمین‌شناسی توجه کنیم لایه‌های رسوبی حداکثر تا عمق چند صدمتری قرار دارند. در اعماق بیشتر، جنس زمین بسیار سخت و

یکپارچه است که سرعت موج در آن بسیار زیاد بوده و از عمقی به پائین‌تر را سنگ کف جغرافیایی می‌نامند. تعبیر سنگ کف درمهندسی عمران کاربرد زیادی دارد و اصولاً پی سازه‌ها روی سنگ کف مهندسی (نه جغرافیایی) قرار داده می‌شود یا در نهایت به آن منتقل می‌گردد.

برای درک ساده‌تری از سنگ کف، تهران را برای مثال درنظر می‌گیریم. در شمال تهران کوههای البرز قرار دارند، این کوهها همان سنگ کف هستند که در سطح زمین نمایان شده‌اند، لذا اگر شیب کوهها را به سمت جنوب‌غربی تهران دنبال کنیم به لایه‌های رسوبی (خاک) بر می‌خوریم که روی سنگ‌کف یا همان کوه را پوشانده‌اند، هرچه بیشتر به سمت جنوب برویم عمق و تعداد این لایه‌های رسوبی بیشتر شده و مثلاً در نزدیکی‌های جاده ساوه به ضخامت بیش از ۲۰۰ متر می‌رسند.

بنابراین وقتی صحبت از لرزش زمین در هنگام زلزله می‌شود بایستی به دو قسمت از جنس زمین در عمق توجه کرد که یکی سنگ کف و دیگری لایه‌های رسوبی می‌باشد.

وقتی زلزله اتفاق می‌افتد از دوطرف گسل، یک طرف نسبت به دیگری حرکت (افقی و عمودی) می‌کند. بدیهی است که کل منطقه واقع در طرف حرکت کرده بطور ناگهانی در یک جهت حرکت نموده و دیگر به حالت قبلی خود بر نمی‌گردد. اگر تمام این قسمت سخت و یکپارچه (مثل سنگ کف) بود، جابجایی رفت و برگشتی نمی‌داشت. لیکن روی سنگ‌کف لایه‌های رسوبی قرار دارد و این لایه‌ها کاملاً سخت نمی‌باشند و شروع به ارتعاش می‌نمایند و جابجایی رفت و برگشتی خواهند داشت.

در زلزله‌های گذشته به تجربه روشن شده است سازه‌هایی (حتی کمی مستحکم) که در قسمتهای کوهستانی یا بر زمین‌های نسبتاً سخت ساخته شده‌اند، نسبت به سازه‌هایی که بر زمین‌های نرم و آبرفتی ساخته شده‌اند خسارات کمتری دیده‌اند. مثلاً در زلزله سال ۱۹۹۵ کوبه ژاپن که اینجانب(مؤلف دوم) آنرا بطور کامل تجربه نموده‌ام خسارات ساختمانها و تأسیسات قسمت‌های کوهستانی در مقایسه با نظایر آنها در دامنهٔ آبرفتی، مناطق ساحلی و زمین‌های بازیافتی (از خشک‌کردن دریا) بسیار کمتر می‌باشد. درمورد زلزله سال ۱۹۹۰ منجیل و رودبار که در مناطق کوهستانی نیز کشته‌ها و خرابیهای زیاد داشت بایستی متذکر گردید که خانه‌ها از نوع کاهگلی یا آجری بوده‌اند که در مقابل زلزله خیلی ضعیف هستند. درعین حال خسارات مناطق آبرفتی در مقایسه با کوهستانی باز هم بیشتر بوده است. البته بایستی متذکر این نکته گردید که مناطقی که در شیب قرار دارند بعلت انعکاس امواج لرزه ای پس از برخورد به سنگ کف شیب دار، ارتعاش بیشتری خواهند داشت. هم در زلزله منجیل ـ رودبار و هم در زلزله کوبه بخش وسیعی از سازه ها از این مسأله آسیب زیادی دیده اند.

بنابراین بعد از وقوع زلزله، قسمت سنگ در اعماق به یک طرف حرکت کرده و رفت و برگشت زیادی نمی‌کند لیکن لایه‌های خاک واقع برروی سنگ به ارتعاش درآمده و معمولاً ارتعاش آنها بیشتر از ارتعاش در سنگ‌کف می‌باشد که اصطلاحاً آنرا بزرگ‌نمایی ارتعاش در سطح زمین نسبت به عمق زمین می‌نامند. تشدید ارتعاش در سطح زمین از عوامل مؤثر در خرابی سازه‌های قرارگرفته روی سطح یا مدفون در داخل لایه‌های سطحی مثل خطوط لوله و تونلهای کم‌عمق می‌باشد.

انواع خرابیهای زمین، علل آنها و آسیب‌های ناشی از آنها

وقتی زلزله‌ای روی می‌دهد لایه‌های واقع شده روی سنگ‌کف بصورت متناوب (رفت و برگشتی) یا ماندگار جابجا می‌شوند. این جابجایی ها باعث تغییرشکل می‌گردد (تغییرشکل یک جسم به جابجایی نسبی نقاط یک جسم نسبت به هم اطلاق می شود). تغییرشکل زمین چه بصورت متناوب وچه به صورت ماندگار می تواند باعث آسیب به آنچه در داخل یا روی لایه‌های خاک قرار دارد، گردد.

انواع خرابیهای بوجود آمده در زمین در هنگام زلزله در جدول زیر بطور خلاصه بیان شده‌اند:

جدول ۵ : انواع خرابی های زمین در زلزله

نوع خرابی	علت	آسیب‌ها
نشست‌های ناهمگن سطح زمین	ارتعاش لایه‌ها و رفتار غیر ارتجاعی خاک	تخریب روکش‌های آسفالتی و بتنی، جداول کنار خیابانها، ایجاد جابجایی نسبی در پی سازه‌های روزمینی و لوله‌های مدفون
گسیختگی سطحی (گسلش)	جابجایی سطح زمین و پارگی آن ناشی از حرکت گسل در محل آنها	ایجاد پارگی و گسیختگی مشابه آن در روکش‌های سطحی، خطوط لوله، تونلها، سدها، ساختمانهای واقع بر محل گسلش
زمین‌لغزه	- تندبودن شیب - وجود لایه‌های لغزنده در شیبها - نفوذ آب - لرزش قوی	- ویرانی خانه‌ها و سازه‌های قرارگرفته روی زمین‌لغزیده - خرابی جاده‌ها و لوله‌های عبورکننده از زمین لغزیده
روانگرایی	- مقدار زیاد ماسه‌ریز در خاک‌های دانه‌ای - وجود آب زیرزمینی در لایه‌های خاک - بالارفتن فشار آب بین ذرات ماسه در اثر زلزله -لرزش قوی	- از بین رفتن مقاومت زمین زیر پی ساختمانها - فروریختن ساختمانها در اثر نشست غیریکنواخت - کج‌شدن ساختمانهایی که پی‌های یکپارچه دارند. - تخریب زیاد لوله‌های مدفون و بیرون زدن منهول‌ها
گسترش جانبی	بروز روانگرایی در لایه‌های زیرین	- حرکت جانبی دیوارهای نگهدارنده بویژه در سواحل - بیرون‌زدگی اتصالات لوله‌های مدفون

■ حرکت توده‌های سنگ و خاک

میزان حرکت زمین دارای طیف گسترده‌ای است که از مقیاس کوچک آن تا مقیاس بزرگ آن یعنی زمین لرزه در کوهپایه‌ها طبقه بندی می‌شود.

زمین لغزه در کوهپایه‌ها

هنگامی که تنش در اثر ارتعاشات زلزله در دامنه کوه از حدی زیادتر می‌گردد، پدیده خردشدگی شروع به بروز می‌نماید. این خردشدگی باعث جریان خاک و سنگ و ایجاد بهمن‌هایی می‌شود که به سمت پایین کوه جاری می‌شود و در مسیر خود همه چیز را خرد می‌کند و یا دفن می‌نماید. خاک و صخره‌ها برای مسافتی به حالت روان به حرکت در می‌آیند و سپس در قسمت ملایمی از شیب دامنه آرام می‌گیرند. این حجم آوار ساکن شده ممکن است باعث مسدود شدن راه رودخانه‌ها شوند و ایجاد یک دریاچه نمایند. با گذشت زمان سطح آب رودخانه در دریاچه بالا می‌آید و باعث شکست سد طبیعی می‌گردد و سیلابی از آب و گل به جریان در می‌آید.در حالت کلی، ریزش بهمن‌وار سنگ‌ها و صخره‌ها با آب همراه نیست، اما جریان غلیظ(همراه با گل و سنگ)(Debris flow) با آب همراه است.

زمین لغزه و سنگ ریزش

زمین لغزه و سنگ ریزش به همان شکلی که پدیدهٔ خردشدگی در دامنه‌ها حادث می‌گردد، روی می‌دهد. البته، مقیاس آنها در این حالت کوچک است به نحوی که دیگر با جریان غلیظ یا بهمن مواجه نمی‌شویم. صخره‌های فروریخته که یک راه طولانی را به شکل پیچیده‌ای طی می‌نمایند، دارای انرژی جنبشی قابل توجهی بوده و شدت ضربه زیادی دارند.

۳۵> یانگای ناپدید شده

یانگای ناپدید شده

یک عکس هوایی شهر یانگای را قبل از مدفون شدن در زیر آوار ناشی از زمین لغزه که به علت زلزله اتفاق افتاده است، نشان می‌دهد. «Antes» یک کلمهٔ اسپانیایی است که به معنی «قبل از» می‌باشد. بنابراین معنای تحت اللفظی Yungay Antes می‌شود: «شهر یانگای قبل از زلزله». از پایین قسمت راست عکس تا بالای قسمت چپ، مسیر عبور بهمنی است که شهر را در زیر خود مدفون ساخت. به قبرستان دایره‌ای شکل شهر که در زیر آوار مدفون نشد، در سمت چپ تصویر دقت کنید. بیش از صد نفر از مردم برای حفظ جان خود به این مکان فرار کردند و درنتیجه جان سالم به در بردند.

(زلزله پرو، پرو، ۱۹۷۰)

اینجا یانگای بود.

در نتیجه وقوع زلزله، کوه یخ هاسکاران (با ٦٧٦٨ متر ارتفاع از سطح دریا) فروریخت. تخمین زده می‌شود که در حدود ۱۰۰ میلیون متر مکعب از سنگ و خاک شروع به لغزیدن می کند و مسیری به طول ۳۰۰۰ متر را طی می‌نماید، و لذا شهر یکدست یانگای با ۲۵۰۰۰ نفر جمعیت، به طور کامل در زیر لایه‌ای از سنگ و خاک به ضخامت تقریبی ۱۰ متر مدفون گردید. توضیح اسپانیایی عکس می‌گوید: «اینجا جایی است که یانگای بود» به فعل گذشته در جمله توجه کنید.
(زلزله پرو، پرو، ۱۹۷۰)

۳٦ ◄ اینجا یانگای بود.

زیارتگاهی بر جای مانده در کوه هاسکاران

در وسط عکس تصویر کوهی دیده می‌شود که با برف دائمی در تمام فصول پوشیده شده است: کوه هاسکاران، که در اثر زلزله، فروریختگی وحشتناک و عظیمی در آن رخ داد. شیارهای بر جا مانده از تودهٔ سنگ و خاک روان شده به سمت پایین کوه به وضوح در محوطه اطراف قابل تشخیص است. چنین برداشت می‌شود که آوار جاری شده به سمت پایین کوه همچون امواج سهمگین در دریا حرکت داشته است و همانند امواج دریا به بالا و پایین در خروش بوده است. (زلزله پرو، پرو، ۱۹۷۰)

۳۷ ◄ زیارتگاهی بر جای مانده در کوه هاسکاران

صخره‌های عظیم هم شناور می‌شوند.

جریان «بهمن‌وار» سنگ و خاک در کوهها، با این ویژگی شناخته می‌شود که: هر مقدار که سنگ عظیم‌تر باشد، به سطح جریان نزدیک تر خواهد گشت . این عکس مثالی در بیان این امر است. (زلزله پرو، پرو، ۱۹۷۰)

۳۸ ◄ صخره‌های عظیم هم شناور می‌شوند.

یانگای؛ مدفون در زیر ۱۰ متر آوار

شهر با لایه‌ای یکدست از آوار سنگ و خاک به ضخامت تقریبی ۱۰ متر پوشیده شده است. بلندای برخی از بلندترین ساختمان‌ها به سختی از سطح جدید زمین سر بیرون آورده است. این عکس قسمت فوقانی یک کلیسا را نشان می‌دهد که از سطح زمین بیرون باقی مانده است. سرپناههای دست ساز چوبی، به منظور یادبود آنان که در زلزله مرده‌اند، برپا گشته است.(زلزله پرو، پرو، ۱۹۷۰)

۳۹ یانگای؛ مدفون در زیر ۱۰ متر آوار

گورستان عمومی شهر مدفون نگشت.

در وسط این عکس گورستان عمومی شهر بر فراز تپه‌ای دیده می‌شود که بیش از صد نفر برای حفظ جان خود بدانجا گریختند و جان سالم به در بردند. تصویر سفید رنگی از مریم مقدس ایستاده بر فراز تپه وجود دارد. در سمت راست عکس صخره‌ای وجود دارد که با وجود اینکه به اندازهٔ یک خانهٔ کوچک است اما بر روی سطح جریان آوار سنگ و خاک در حرکت بوده است.(زلزله پرو، پرو، ۱۹۷۰)

۴۰ گورستان عمومی شهر مدفون نگشت.

تاج سد توسط بهمن شکسته شد.

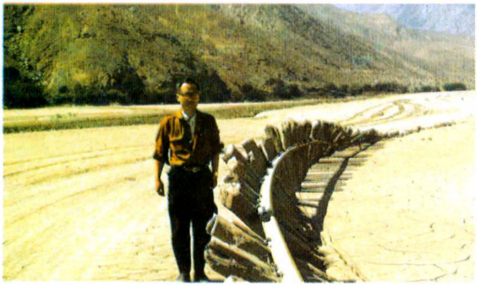
ذخیرهٔ آب در حوضچه آبگیر این سد بتنی غیر ممکن شده است، به این دلیل که طوفان سهمگینی که شامل جریان گل و لای بود، است به مدت ۶ الی ۷ ساعت بعد از زمین لرزه اتفاق افتاده و تاج سد را شکسته است.
(زلزله پرو، پرو، ۱۹۷۰)

۴۱ تاج سد توسط بهمن شکسته شد.

وارون شدن ریلهای آهن

رودخانه سانتا توسط توده‌ای از سنگ، گل و لای که در مسیر آن جریان یافته بود، مسدود شد. این امر باعث ایجاد سیل سهمگین و پرسرعتی شد که در مسیر خود خط آهن را هم از بین برد. سیلاب مسیر خط آهن را برعکس نمود به نحوی که اتصالاتی که معمولاً برروی زمین قرار دارند اینک در بالای ریل قرار گرفته‌اند. این بدین سبب است که اتصالات از چوب ایجاد شده‌اند و چوب دارای میزان غوطه وری بالایی می‌باشد.

(زلزله پرو، پرو، ۱۹۷۰)

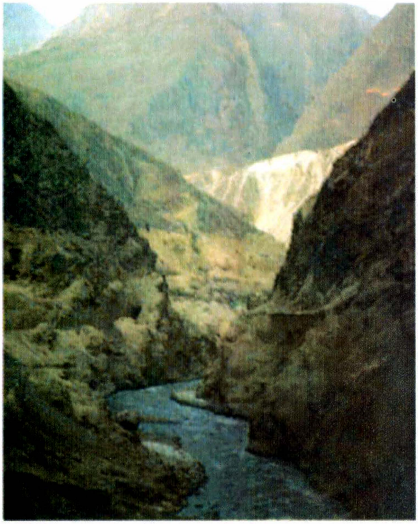


۴۲◄ وارون شدن ریلهای آهن

فرو ریختن سد طبیعی و به جریان در آمدن خاک و سنگ

شهر یانگای در زیر آوار بهمن مانندی که در اثر زلزله به حرکت درآمد، دفن گردید. این جریان سنگ و خاک، در مسیر شیب کوه هاسکاران به حرکت درآمد و به رودخانه سانتا رسید و در آنجا متوقف شد؛ در نتیجه یک سد طبیعی بر روی رود پدید آمد که آب را در پشت خود نگهداشت. آب محصور در پشت این سد طبیعی بالا آمده و از روی سد سرازیر شد، که این باعث خراب شدن بخشی از سد شد و باعث جریان یافتن مخلوطی از گل و سنگ و آب به طرف رودخانه گردید. عکس، بستر طبیعی رودخانه را در حالت عادی نمایش می‌دهد. علامت‌های سفید رنگ باقیمانده در اطراف رودخانه به خوبی نشان می‌دهد که جریان گل و لای با عمقی در حدود ۳۰ متر به طرف پایین دست رود جاری گشته بود.

(زلزله پرو، پرو، ۱۹۷۰)



۴۳◄ فرو ریختن سد طبیعی و به جریان در آمدن خاک و سنگ

فروریختن یک پل در اثر جریان گل و لای

قطاری که درحال ورود به ایستگاه « نبوگاوا » بود، ناگهان توسط جریان سنگ و خاکی که در حوزه رودخانه نبو به حرکت در آمده بود، به دریا پرتاب شد. نشانه‌های باقیمانده از جریان سنگ و خاک و بخشی از پل مشبک راه آهن در پیشانی عکس دیده می‌شود.

(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۴۴◄ فروریختن یک پل در اثر جریان گل و لای

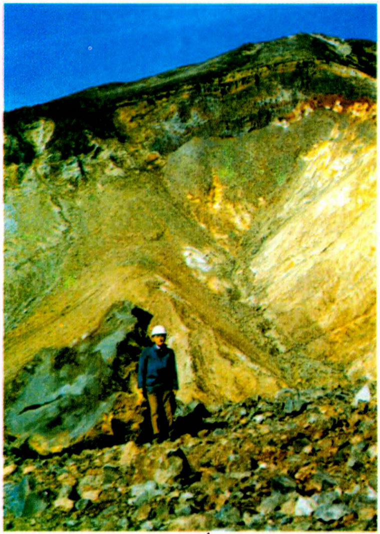
نشانه‌های بجامانده از حرکت گل و لای

خطوط به جای مانده از جریان سهمگین گل و لای که به سمت پایین رودخانه « نبو » بعد از فروریختن کوه به حرکت درآمد در اطراف بستر رود، دیده می‌شود. در هر دو طرف رودخانه درختها و گیاهان از ریشه کنده شدند که نشانگر عمق بسیار زیاد جریان می‌باشد.(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۴۵◄ نشانه‌های بجامانده از حرکت گل و لای

لغزش زمین در کوه اُنتاک ژاپن

در اثر وقوع یک زلزله در حدود ٪۸۰ از ارتفاع کوه اُنتاک دچار ریزش گردید. جریانی که در اثر لغزش و ریزش کوه بوجود آمد در حدود ۱۲ کیلومتر در طول رودخانه نیگوری-کاوا به حرکت درآمد به نحوی که رودخانهٔ بهاری، به طور کامل در زیر جریان سنگ و خاک مدفون گشت. حجم ریزش زمین را در این حادثه، ۳۰ میلیون متر مکعب بیان کرده‌اند.
(زلزله غرب استان ناگانو ، ژاپن، ۱۹۸۴)



۴۶◄ لغزش زمین در کوه اُنتاک ژاپن

۴۷ پرتاب صخره‌ها و تخته سنگها

پرتاب صخره‌ها و تخته سنگها
(Flying rock & stores)

در کوه اُنتاک، درختان بسیاری در اثر ضربات سنگ‌ها در ریزش بهمن‌وار کوه از ریشه کنده و متلاشی شدند. بر بدنه درختان - چه درختان از ریشه کنده شده و چه آنها که سالم مانده‌اند - آثار بسیاری از اصابت سنگها قابل رؤیت است.

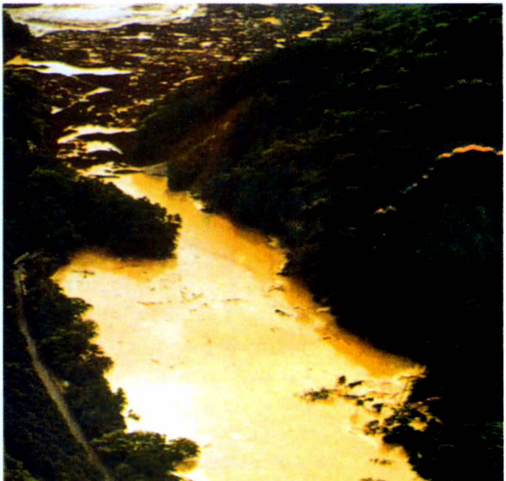
(زلزله غرب استان ناگانو ، ژاپن، ۱۹۸۴)

۴۸ خانهٔ نیمه مدفون

خانهٔ نیمه مدفون

جریان خاک وسنگ ناشی از فروریختگی کوه اُنتاک در حدود ۱۲ کیلومتر به سمت پایین دست رودخانه، جریان یافته و سپس روی هم انباشته شد. طبقهٔ اول این خانه دو طبقه در زیر آوار مدفون گشت.

(زلزله غرب استان ناگانو، ۱۹۸۴)



۴۹ احداث کانال انحراف آب به منظور جلوگیری از ریزش سد طبیعی ایجاد شده

احداث کانال انحراف آب به منظور جلوگیری از ریزش سد طبیعی ایجاد شده

در طول زلزله ناگانو کن سیبو (واقع در قسمت غربی استان ناگانو) حدود ٪۸۰ از کوه اُنتاک دچار لغزش شد و حجم عظیمی از سنگ و خاک بوجود آمد. آوار به طرف پایین کوه سرازیر شدند و یک سد طبیعی بر روی رودخانه اُنتاک ایجاد شد. رودخانهٔ مسدود شده توسط آوار در جلو عکس دیده می‌شود. این خطر وجود داشت که سطح آب بالا رفته و جریان از روی سد سرریز کند، سد طبیعی شکسته شده وجریان گل و لای شروع به حرکت نماید. لذا یک کانال انحراف آب به منظور جلوگیری از شکسته شدن سد طبیعی احداث شد.

(زلزله غرب استان ناگانو، ژاپن، ۱۹۸۴)

جاده‌ای که ناپدید شد.

در اثر زلزله ناگانو ـ کن ـ سیبو، لغزش کوه در ماتسو کوشی در روستای اُتاکی به وقوع پیوست. یک جاده و تعدادی خانه به طور کامل تخریب شده و ۱۳ نفر در اثر ریزش کوه کشته شدند. نیمی از خانه‌های با سقف قرمز، در سمت چپ تصویر ویران شدند و با ریزش کوه فروریختند. هنگامی که لغزش کوه اتفاق افتاد، صاحبان منازل، در خانه‌های خود بودند. یکی از اهالی روستا که درقسمت فرو نریخته زنده ماند، همسر خود را از دست داد. همسر وی درمنزلشان و در قسمتی که خراب شد، حضور داشت.
(زلزله ناگانو ـ کن ـ سیبو، ژاپن، ۱۹۸۴)

۵۰◁ جاده‌ای که ناپدید شد.

تا نزدیکی مرگ در یک برنامه زنده تلوزیونی

این محوطهٔ وقوع زمین لغزه در روستای اُتاکی استان ناگانو می‌باشد و این یک برنامه زنده تلوزیونی NHK (شبکه دولتی ژاپن) جهت اخبار صبحگاهی است. به محوطهٔ سایت فروریختگی کوه نزدیک شده بودیم تا بتوانیم با نمایش قسمتهای ترک خوردهٔ زمین، یک برنامه مهیج تهیه کنیم که ناگهان بزرگترین پس لرزه رخ داد و زمین شروع به لرزیدن کرد و در نتیجه دیگر امکان ایستادن نبود. ما ترسیده بودیم و با آخرین سرعت ممکن شروع به فرار از محوطه کردیم. صحنه فرار ما در تمام ژاپن پخش شد!
(زلزله غرب استان ناگانو، ژاپن، ۱۹۸۴)

۵۱◁ تا نزدیکی مرگ در یک برنامه زنده تلوزیونی

زمین لغزه دارای قدرت فوق العاده‌ای است.

ریزش کوه در روستای اُتاکی استان ناگانو،کارخانهٔ بتن سازی را در هم شکست و یک میکسر بتنی را به بالای خاکریز طرف دیگر با ۲۰ متر ارتفاع پرتاب کرد. ۱۳ نفر در این مکان کشته شدند.

(زلزله غرب استان ناگانو ، ژاپن، ۱۹۸٤)

۵۲< زمین لغزه دارای قدرت فوق العاده‌ای است.

میکسر بتن به بالای خاکریز رودخانه پرتاب شد.

میکسر بتنی که در شکل قبل نشان داده شد، به طرف خاکریز سمت مقابل شسته شده بود.

(زلزله غرب استان ناگانو ، ژاپن، ۱۹۸٤)

۵۳< میکسر بتن به بالای خاکریز رودخانه پرتاب شد.

ویژگیهای زلزله‌هایی که در دامنه‌ها اتفاق می‌افتند.

هنگامی که زلزله‌ای با بزرگی متوسط در کوهپایه‌ای رخ می‌دهد که دارای لایه‌های آبرفتی نباشد، نوعی «حرکت لرزه‌ای» با شتاب زیاد که دارای مؤلفه‌هایی با فرکانس بالا است، تولید می‌شود. به دلیل اینکه طول مدت رخداد چنین «حرکات لرزه‌ای» کوتاه است، لذا پدیدهٔ رزنانس سازه‌ای، که باعث خسارت به سازه‌ها می‌گردد، پیش نمی‌آید. اما حوادثی چون لغزش زمین و پرتاب شدن سنگ‌ها در هنگامی که دامنهٔ زلزله بالاست، پیش می‌آید؛ حتی اگر زلزله آنی و زودگذر باشد. در عکسی که مشاهده می‌کنید، تنها ماشین‌های خرید اتوماتیک واژگون شده‌اند. زلزله غرب استان ناگانو نمونه‌ای است از زلزلهٔ حادث در دامنه‌ها.

(زلزله غرب استان ناگانو، ژاپن، ۱۹۸٤)

۵٤< ویژگیهای زلزله‌هایی که در دامنه‌ها اتفاق می‌افتند.

۵۵◄ ریزش صخره در بخش‌های شرقی «باگایو»

ریزش صخره در بخش‌های شرقی «باگایو»

زمین لغزه‌های متعددی در بخشهای شرقی شهر باگیو رخ داد. این شهر برروی گسلی واقع شده است که از میان این منطقه کوهستانی عبور می‌کند. در اثر زلزله فیلیپین خسارت جدی به این سد خاکی وارد آمد که در عکس قابل مشاهده است. همچنین در اثر زمین‌لغزه تأسیسات پایین‌دست سد دچار آسیب شدند و به این دلیل تولید برق متوقف گشت. ترکهای بوجود آمده در پوسته این سد در جهت محور مرکزی سد شکل گرفتند.

نیروهای امدادی در حال جستجوی اجساد

ماشینی که به پشت واژگون گشته است، (در تصویر، چرخ‌های آن قابل مشاهده است) همراه با جریان گل و لایی که در اثر زلزله غرب ناگانو پدید آمد، حمل شده است. اعضای تیم امداد برای نجات سرنشینان خودرو به سختی در حال تلاشند.

(زلزله ناگانا ـ کن ـ سیبو، ژاپن، ۱۹۸۴)

۵۶◄ نیروهای امدادی در حال جستجوی اجساد

۵۷◄ ریزش کوه، پدیده‌ای که در همه جا می‌توان دید.

ریزش کوه، پدیده‌ای که در همه جا می‌توان دید.

زلزله باعث ایجاد زمین لغزه‌های زیادی در دامنه کوه آتشفشانی رونتادور (۳۵۶۲ متر ارتفاع از سطح دریا) شده است. این کوه که در نواحی بالا دست رود آمازون قرار گرفته است و خاک آن دارای ترکیبات گوناگونی از خاکسترهای آتشفشانی است، از ارتفاع ۳۲۰۰ متری دچار ریزش گردید. با وجود اینکه این منطقه در معرض باران‌های جنگلهای مناطق گرمسیری می‌باشد، اما تعداد معدودی درخت دیده می‌شود و دلیل آن زمین لغزه‌های متعدد بعد از زلزله است که چهره کوه را از درخت پاک کرده است.

(زلزله اکوادر، اکوادر، ۱۹۸۷)

آثار بجا مانده از یک سد طبیعی

این منطقه در امتداد قسمتهای بالادست رود آمازون و در محلی است که بستر رودخانه باریک می‌شود. چنین حدس زده می‌شود که در اثر زلزله اکوادر یک سد طبیعی توسط سنگ و خاک در این مکان ایجاد شده و در برابر جریان رودخانه ایجاد مانع کرده باشد. در نتیجه، با سرازیر شدن و طغیان آب، این سد خراب گشته و پلی را هم که در پایین دست رودخانه وجود داشته از بین برده است. (زلزله اکوادر، اکوادر، ۱۹۸۷)

۵۸◄ آثار بجا مانده از یک سد طبیعی

۵۹◄ جریان خاک و سنگ سواحل رودخانه را شسته و از بین برده است.

۶۰◄ پلی که توسط جریان سنگ و خاک نابود شد.

جریان خاک و سنگ سواحل رودخانه را شسته و از بین برده است.

آثار و خطوطی مشاهده می‌شود که نشانگر یک طغیان عظیم توسط جریانی است که حجم زیادی از تخته سنگها و گل و لای را با خود به سمت پایین دست رودخانه برده است. این عکس به خوبی نشان می‌دهد که جریان در مسیر خود به طرف پایین دست رود، در هر دو سمت بستر درختان و گیاهان را ریشه کن نموده است. در مقایسه نسبت به درختان بلند و تنومند منطقه، عمقی بیش از ۳۰ متر برای این جریان سنگ و خاک پیش بینی می‌شود.
(زلزله اکوادر، اکوادر، ۱۹۸۷)

پلی که توسط جریان سنگ و خاک نابود شد.

عکس ویرانی کامل یک پل در اثر طغیان شدید ناشی از فروریختگی سد طبیعی ایجاد شده در بالادست رودخانه را نشان می‌دهد. تنها بخشهایی از فونداسیون سازه در آب باقیمانده است. (زلزله اکوادر، اکوادر، ۱۹۸۷)

۶۱◄ ویرانی پل و خط لولهٔ نفت

ویرانی پل و خط لولهٔ نفت

یک سد طبیعی در مسیر یک رودخانه در اثر ریزش سنگ و خاک ناشی از زمین لغزه‌های متعدد حادث در دامنه، بوجود می‌آید. آب در پشت سد بالا رفته و با سرریز شدن از روی سد باعث ایجاد یک طغیان بزرگ می‌شود. این عکس نشان می‌دهد که تیر حمال پل و خط لوله نفت مرتفعی که در مسیر رودخانه قرار داشته‌اند، به کلی از بین رفته‌اند.

(زلزله اکوادر، اکوادر، ۱۹۸۷)

تخریب خط لوله و هدر رفتن نفت

کشور اکوادر با تهیه و تولید نفت از مناطق بالادست رودخانه آمازون و انتقال آنها به وسیله خط لوله‌ای که از کوههای آندس می‌گذرد و به بندرگایا کویل در ساحل اقیانوس آرام می‌رسد، به تجارت خارجی می‌پردازد. نفت عمده‌ترین بخش صادرات این منطقه را تشکیل می‌دهد. متأسفانه، لغزش‌های متعدد زمین در نقاط مختلف،خط لوله را قطعه قطعه کرده‌است. در اثر این حادثه خسارت جدی و جبران ناپذیری به صادرات خارجی این کشور وارد آمد. در تصویر نفت سیاهی که در حال ریختن از خط لوله است، مشاهده می گردد.

(زلزله اکوادر، اکوادر، ۱۹۸۷)

۶۲◄ تخریب خط لوله و هدر رفتن نفت

۶۳◄ درختانی که توسط جریان سنگ و خاک حمل شده‌اند.

درختانی که توسط جریان سنگ و خاک حمل شده‌اند.

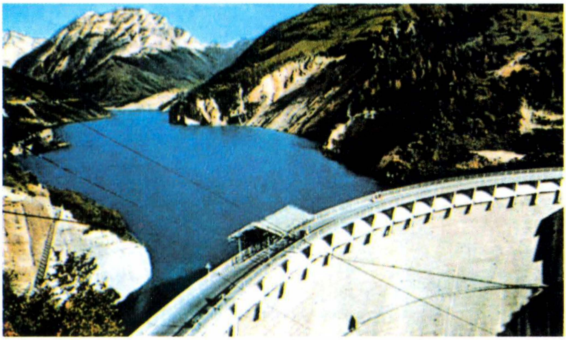
در اثر زلزله فیلیپین زمین لغزه‌های بسیاری رخ داد که به سبب آنها درختان زیادی خشک و یا کنده شدند و توسط جریان سنگ و خاک به طرف پایین دست رودخانه حمل گردیدند. درختان از ریشه کنده شده و همچون آشغال به قطعات کوچک خرد می‌گشتند. حجم زیادی از این آشغال‌ها در پشت پل جمع و متوقف شدند. اگر پل محکم ساخته نشده بود حتماً توسط آنها شسته شده و از بین می‌رفت.(زلزله‌جزیره لوزان،فیلیپین، ۱۹۹۰)

ریزش کوه در اثر انفجار دینامیت

سد واجونت که با شاخصهٔ ارتفاع ۲۸۰ متری آن شناخته شده است، بلندترین سد جهان در زمان ساخته شدن بوده است. درست در هنگامی که مخزن سد به اندازهٔ گنجایش خود پرشده بود، بخش عظیمی از کوه در دریاچه فروریخت. علت ریزش کوه را انفجارهایی که در زمان ساخت برای ایجاد جادهٔ دسترسی در اطراف مخزن انجام شده، می‌دانند. حجم زیادی از خاک و سنگ در مخزن فرو ریخت و باعث شد که سطح آب به اندازه ۱۰۰ متر بالاتر از سطح تاج برسد و در نتیجه سیل عظیمی به طرف پایین دست رودخانه به راه افتاد.

۳۵۰۰ نفر از مردم در اثر این حادثه کشته شدند. عکس نمایی از سد را قبل از ریزش کوه نشان می‌دهد.

(سد واجونت، ایتالیا، ۱۹۶۳)



٦٤< ریزش کوه در اثر انفجار دینامیت

سر ریز شدن حجم زیادی از آب از روی سد

این وضعیت کنونی سد واجونت است. نرده‌های جان‌پناه در اطراف تاج سد در اثر سرریز خسارت بار آب از روی سد از بین رفتند. میلگردهای زنگ زده بتن مسلح در جهت سرریز جریان گل و لای خم شده‌اند. تمام چیزی که در پشت سد می‌توان مشاهده کرد آواری است که در اثر لغزش کوه پدید آمده است.

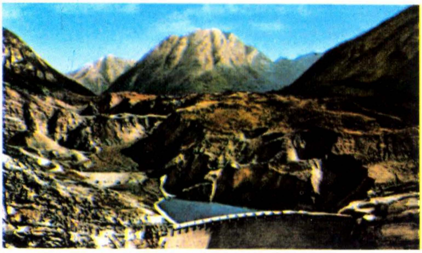
(سد واجونت، ایتالیا، ۱۹۶۳)

٦٥< سر ریز شدن حجم زیادی از آب از روی سد

فرو ریختن کوه به درون دریاچهٔ یک سد

در اینجا بهتر است که بگوییم نیمی از کوه فروریخته است تا اینکه بگوییم بخشهایی از کوه دچار زمین لغزه شده است. به هر صورت مشاهده می‌شود که بیشتر آب به دلیل حجم زیاد سنگ و خاک تخلیه شده در حوضهٔ آبگیر، از مخزن سرریز شده است.

(سد بیونت، ایتالیا، ۱۹۶۳)



٦٦< فرو ریختن کوه به درون دریاچهٔ یک سد

نمای یکی از روستاهای پایین دست رودخانه قبل از سیل

روستایی قبل از بروز فاجعه در دو کیلومتری پایین دست رودخانه وجود داشته است. ساختمان ایستگاه قطار در جنب خط راه آهن قابل مشاهده است. آجر ساز بودن بسیاری از خانه‌های سه طبقه قابل مشاهده است.
(سد بیونت، ایتالیا، ۱۹۶۳)

۶۷< نمای یکی از روستاهای پایین دست رودخانه قبل از سیل

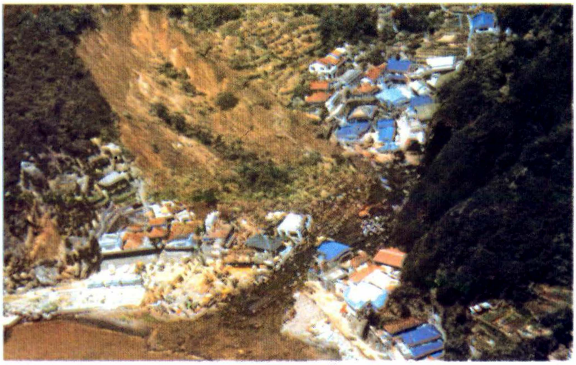
قدرت عظیم یک سیل با عمق جریان ۱۰۰متر

این عکس تغییرات قابل توجه در وضعیت این روستا را در مقایسه با حالت قبل از بروز فاجعه نشان می‌دهد. تقریباً تمامی خانه‌ها و مجموعه راه آهن شسته شده است. چنین قدرتی از سیلی با عمق ۱۰۰ متر از گل و لای، اعجاب بر انگیز است.
(سد بیونت، ایتالیا، ۱۹۶۳)

۶۸< قدرت عظیم یک سیل با عمق جریان ۱۰۰ متر

ناپایداری و لغزش شیب در ناکاگی

از آنجا که جزیره ایزو تماماً در منطقه‌ای آتشفشانی قرار گرفته است، لذا صخره‌های آن در معرض فرآیند هوازدگی قرار دارند و در نتیجه لغزشهای متعددی در قسمتهای مختلف زمین به هنگام زلزله پدید می‌آید. این عکس نشان می‌دهد که در روستای ناکاگی بیش از ۲۰ خانه در زیر حجم عظیمی از آوار ناشی از ریزش کوه، مدفون شده‌اند. تعداد کشتگان این سانحه ۲۷ نفر بود.
(زلزله ایزو ـ هانتو ـ اکی، ژاپن، ۱۹۷۴)



۶۹< ناپایداری و لغزش شیب در ناکاگی

خانه‌هایی که در اثر لغزش کوه مدفون شدند.

اینها منازلی هستند که در اثر لغزش زمین در روستای ناکاگی مدفون گشته‌اند.
(زلزله ایزو ـ هانتو ـ اکی، ژاپن، ۱۹۷۴)

۷۰ خانه‌هایی که در اثر لغزش کوه مدفون شدند.

تخریب خانه در اثر زمین لغزه

در اثر زمین لغزه ناشی از یک زلزله خانه‌ای که در اثر ویرانی طبقه اولش کج شده بود به سمت پایین رانده شد. رخداد این زمین لغزه در منطقه کوهستانی جزیره ایزو بود و ویرانی نشان داده شده در عکس در ناشیموتا می‌باشد.
(زلزله ایزو ـ اشیما ـ کیکای، ژاپن، ۱۹۷۸)

۷۱ تخریب خانه در اثر زمین لغزه

دود خارج شده از یکی از منازل مدفون شده و عملیات جستجو

این زلزله فروریختگی‌های بسیار و زمین لغزه‌های متعددی در منطقه‌ای که جنس زمین آن لایه‌ای از گدازه‌های هوازده آتشفشانی می‌باشد، پدید آورد. در منطقه میداکا ـ ایریا ۱۰ خانه در اثر ریزش خاک مدفون گشتند و ۷ نفر در اثر این حادثه جان باختند. این عکس عملیات جستجو و نجات را بعد از حادثه نشان می‌دهد. دود برخواسته از آتش درون یکی از خانه‌های مدفون شده در هوا دیده می‌شود. کمبود اکسیژن باعث شده است که آتش به دود تبدیل گردد.
(زلزله ایزو ـ اشیما ـ کینکای، ژاپن، ۱۹۷۸)

۷۲ دود خارج شده از یکی از منازل مدفون شده و عملیات جستجو

ریزش زمین باعث آسیب دیدگی دانش‌آموزان در حیاط مدرسه شد.

دقایقی پس از زلزله، هنگامی که دانش آموزان به قصد فرار آماده ترک مدرسه بودند، ناگهان شیب فروریخت و زمین لغزه پدیدار گشت. در نتیجه ریزش زمین ۷ تن از دانش‌آموزان دچار آسیب دیدگی شدند و جان باختند.

(زلزله تاکاچی ـ اکی، ژاپن، ۱۹۶۸)

۷۳ ریزش زمین باعث آسیب دیدگی دانش‌آموزان در حیاط مدرسه شد.

تفاوت بین خرابی خانه و خرابی جاده

مشاهده می‌شود که جاده دچار آسیب‌دیدگی جدی شده اما منازل دچار آسیب‌دیدگی خاصی نشده‌اند.

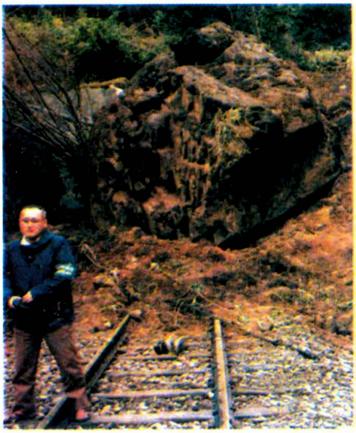
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۷۴ تفاوت بین خرابی خانه و خرابی جاده

اگر قطار در حال حرکت می‌بود ...

یک تخته سنگ بزرگ به وزن تقریبی ۱۰ تن از ارتفاعی که تا خط آهن فاصله چشمگیری داشت، رها گشت و بر روی ریل افتاد. بر اثر این سقوط ورودی تونل ویران گشت اما خوشبختانه قطار دقایقی قبل از حادثه وارد تونل شده بود. در حالت کلی، جلوگیری از سقوط تخته سنگها خیلی مشکل است و دلیل آن، سقوط آنها از ارتفاعهای بلند و تغییر مسیری است که بخاطر فرورفتگی و برجستگی‌هایشان در طول راه می‌دهند. این خسارتی است که به تونل هاکوسان از خط ایزو وارد آمده است.

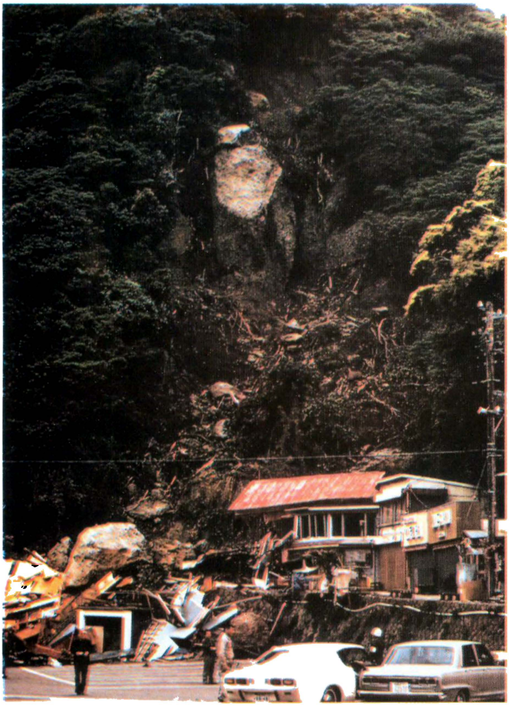
(زلزله ایزو – اشیما – کینکای، ژاپن، ۱۹۷۸)



۷۵ اگر قطار در حال حرکت می‌بود ...

آسیب دیدگی یک فروشگاه کوچک در اثر سقوط صخره

در اثر سقوط تخته سنگ‌ها یک مغازه به شدت آسیب دید و قطعه قطعه شد.
(زلزله ایزو ـ اشیما ـ کینکای، ژاپن، ۱۹۷۸)



۷۶◄ آسیب دیدگی یک فروشگاه کوچک در اثر سقوط صخره

لغزش دامنه باعث از بین رفتن یک اتوبوس شد.

این مکانی است که در آن اجساد ۷ نفر را درون یک اتوبوس که در اثر ریزش آوار دامنه کوه منطقه ناشیموتو، از بین رفته بودند، پیدا کردند. در عکس گل‌هایی که به یادبود قربانیان گذاشته شده می‌بینید. قسمتی از بدنهٔ اتوبوس به دلیل آنکه در زیر لایهٔ ضخیمی از آوار قرار گرفته، همچنان در این مکان باقی مانده است.
(زلزله ایزو ـ اشیما ـ کینکای، ژاپن،۱۹۷۸)

۷۷◄ لغزش دامنه باعث از بین رفتن یک اتوبوس شد.

امکان بروز فاجعه در هنگام سقوط تخته سنگ‌ها

سازه‌ای که به منظور ایجاد ایمنی و حفاظت در برابر سقوط صخره‌ها در خروجی تونل نصب و ساخته شده بود، با سقوط تخته سنگها به آسانی ویران گشت.
(زلزله ایزو — اشیما - کینکای، ژاپن، ۱۹۷۸)

۷۸◄ امکان بروز فاجعه در هنگام سقوط تخته سنگ‌ها

حادثهٔ سقوط صخره نزدیک ایستگاه اُچانومیزو در هنگام زلزله عظیم کانتو

در زلزلهٔ بزرگ کانتو، یک زمین لغزه در مجاورت ایستگاه «اُچانومیزو» رخ داد. خانه‌های واقع در بالای صخره فروریختند و همراه با ایستگاه و خطوط قطار به پایین دره در رودخانه کاندا سقوط کردند. (زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۷۹◄ حادثهٔ سقوط صخره نزدیک ایستگاه اُچانومیزو در زلزله عظیم کانتو

ترکها در شیب

زلزله جنوب ایتالیا، در کوهستان به وقوع پیوست. این زلزله باعث ایجاد ترکهای زیادی در این شیب شده است.
(زلزله جنوب ایتالیا، ایتالیا، ۱۹۸۰)

۸۰◄ ترکها در شیب

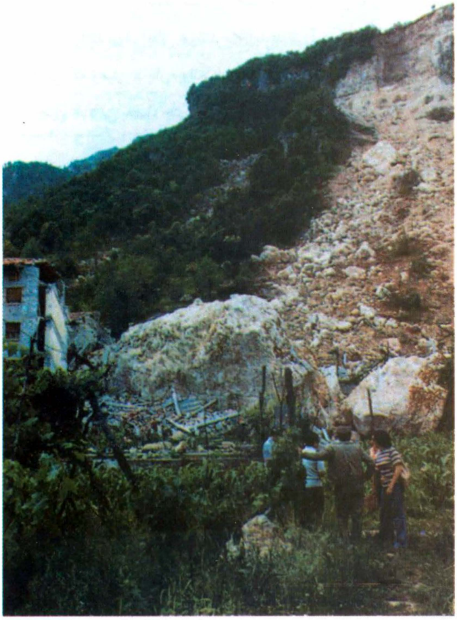
امید که صخره‌ای سقوط نکند.

پس از وقوع زلزله جنوب ایتالیا و در هنگامی که در حال یک تحقیق جامع دربارهٔ این حادثه بودیم، شنیدیم که ساعاتی قبل از ورود به این منطقه، در اثر وقوع یک پس لرزه، صخره‌ها به درون جاده سقوط کرده‌اند. از آنجا که آن تنها مسیر ممکن برای عبور بود، در هر صورت، ما چارهٔ دیگری جز عبور از آن جاده نداشتیم. پس با ترس و لرز و با آخرین سرعت به همراه راهنمایی که از طرف کشور ایتالیا با ما بود، از آن جاده گذر کردیم.
(زلزله جنوب ایتالیا، ایتالیا، ۱۹۸۰)

۸۱< امید که صخره‌ای سقوط نکند.

سقوط صخره‌ها در اثر زلزله فریئولی در شمال ایتالیا

به دلیل اینکه وقوع زلزله فریئولی در منطقهٔ کوهستانی شمال ایتالیا بود، این حادثه باعث ایجاد چندین مورد سانحهٔ سقوط صخره و زمین لغزه در مناطق مختلف شد. سقوط یک صخره که به اندازهٔ یک خانهٔ کوچک بود، باعث خرابی بخشهایی از این خانه شده است.
(زلزله فریئولی، ایتالیا، ۱۹۷۶)

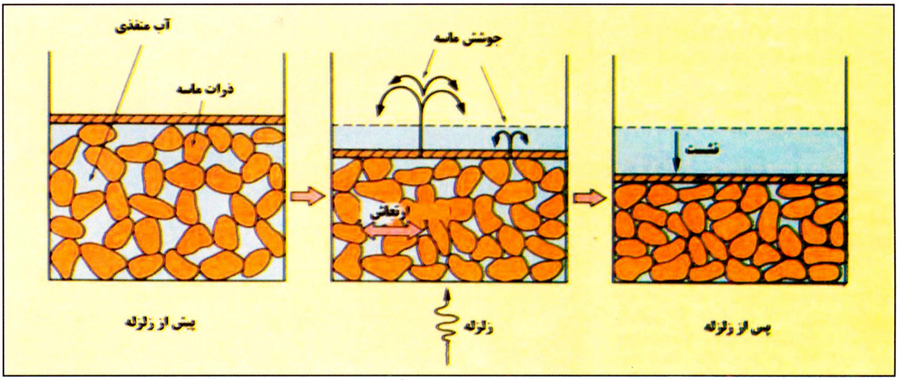


۸۲<سقوط صخره‌ها در زلزله فریئولی در شمال ایتالیا

■ روانگرایی

بر خلاف ماسه‌ها، شنها دارای ویژگی «چسبندگی» بین ذرات خود نیستند. هنگامی که یک تودهٔ ماسه تحت فشار خارجی قرار می‌گیرد، ذرات آن در برابر فشار مقاومت می‌کنند و دلیل این امر اصطکاک بین ذرات می‌باشد. هنگامی که در فضای خالی بین ذرات آب موجود باشد (که به آن آب منفذی گفته می‌شود) فشار آب هم (فشار آب منفذی) بخشی از فشار بیرونی را تحمل می‌نماید. در واقع اصطکاک بین ذرات متناسب با فشاری است که باعث شده‌است ذرات به یکدیگر فشار وارد آورند. بنابراین، یک تودهٔ ماسه که به خوبی فشرده شده باشد و ذرات ماسه در آن به یکدیگر نیروی زیادی اعمال کنند، اصطکاک بالایی دارد وتوسط یک نیروی خارجی به راحتی نمی‌شکنند. در مقابل، هنگامی که آب خلل و فرج بین ذرات ماسه را پر کرده باشد، ماسه خیلی فشرده نشده است؛ بنابراین هنگامی که یک فشار خارجی بر روی ماسه اعمال می‌شود، ذراتْ و اجزاء ماسه تمایل دارند که بیشتر فشرده شوند تا فضای بین ذرات را تقلیل دهند. در چنین حالتی، میزان ضریب الاستیسیته خیلی زیاد است به شکلی که ممکن است فشار آب منفذی خیلی زیادی تولید گردد (فشار آب منفذی اضافی) این فشارهیدرولیکی سعی بر کاهش فشار ذرات بر یکدیگر دارد؛ در نتیجه اصطکاک بین آنها هم کاهش می‌یابد. هنگامی که فشار خارجی که توسط زلزله بوجود می‌آید به دفعات بر ماسه اعمال گردد، فشار آب منفذی اضافه می‌شود و در نتیجه فشار و اصطکاک بین ذرات را از بین می‌برد. این امر، وضعیتی را پدید می‌آورد که در آن ذرات ماسه به حالت معلق در آب درمی‌آیند و شرایطی همانند مایع پدید می‌آید که به آن روانگرایی می گویند.

هنگامی که زمینی دچار روانگرایی می‌شود، سازه‌های سنگین روی آن دچار ناپایداری شده و لوله‌های سبک زیرزمینی به حالت شناور در می‌آیند. در چنین حالاتی بعضاً، حتی نشست‌های دائمی با عمق بیش از ۱۰ متر نیز به وقوع پیوسته است.



شکل ۲۱) مکانیزم روانگرایی

فروریختن پل بزرگ شووا

به دلیل نشست شمع‌ها، در اثر پدیده روانگرایی زمین، شووا - اوهاشی (پل بزرگ شووا) فروریخت. در سمت چپ تصویر دود ناشی از آتش سوزی در یک مخزن نفت نیز قابل مشاهده است.
(زلزله نیگاتا، ژاپن، ۱۹۶٤)

۸۳< فروریختن پل بزرگ شووا

مدفون شدن خط آهن در زیر فوران ماسه‌ای

محوطه ایستگاه راه‌آهن آوموری، از خط آهن کشوری ژاپن، در اثر زلزله توکاچی-اُکی در سال ۱۹۶۸ دچار روانگرایی شد. چنان که ملاحظه می‌شود، ریلها در اثر روانگرایی دیگر قابل مشاهده نیستند. در این مکان جوشش ماسه و آب از زمین و نشست رخ داده است.
(زلزله توکاچی-اُکی، ژاپن، ۱۹۸۳)

۸٤< مدفون شدن خط آهن در زیر فوران ماسه‌ای

غوطه‌ور شدن مخزن زیرزمینی در اثر روانگرایی

به دلیل اینکه چگالی گازوئیل زیرزمین نسبتاً کم و ناچیز است، در نتیجه به هنگام بروز پدیدهٔ روانگرایی در اطراف آن به حالت شناور درمی‌آید. این عکس ترکهایی را بر روی کف بتنی نشان می‌دهد که در اثر فشار ناشی از مخزن شناور پدید آمده است.
(زلزله نیهونکای - چوبو، ژاپن، ۱۹۸۳)

۸۵< غوطه‌ور شدن مخزن زیرزمینی در اثر روانگرایی

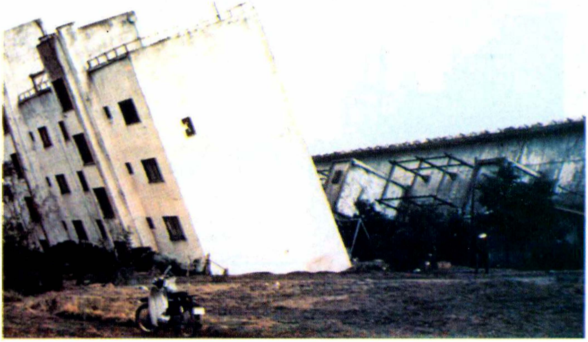
دروازهٔ کج شدهٔ معبد

در اثر روانگرایی در محل، شالوده ورودی معبد شینتو کج و شیبدار شده‌است.
(زلزله نیهونکای - چوبو، ژاپن، ۱۹۸۳)

۸۶◄ دروازهٔ کج شدهٔ معبد

کج شدن تدریجی ساختمانها

همچنان که می‌شود از نام شهر حدس زد، سطح شهر کاواگیشی - چو (به معنی شهر ساحلی) از خاک نرمی که توسط رود شینانو حمل شده، پوشیده شده است. زمین این قسمت در اثر زلزله دچار روانگرایی شده است. این خانه‌های آپارتمانی که از شمع‌های عمیق در فونداسیون آنها استفاده نشده است، به شدت کج شده‌اند. اما همچنان که مشاهده می‌شود هیچ گونه ترکی در دیوار خانه‌ها مشاهده نمی‌شود. در واقع، این خانه‌ها در اثر لرزش شدید کج نشده‌اند بلکه در اثر نرمی خاک بخاطر روانگرایی بدین شکل درآمده‌اند. کج شدن ساختمان طی یک زمان طولانی رخ می‌دهد (به گفته ساکنان در حدود ۱۰ دقیقه)؛ در نتیجه در این گونه حالات، حادثه قربانی بر جای نمی گذارد.
(زلزله نیگاتا، ژاپن، ۱۹٦٤)



۸۷◄ کج شدن تدریجی ساختمانها

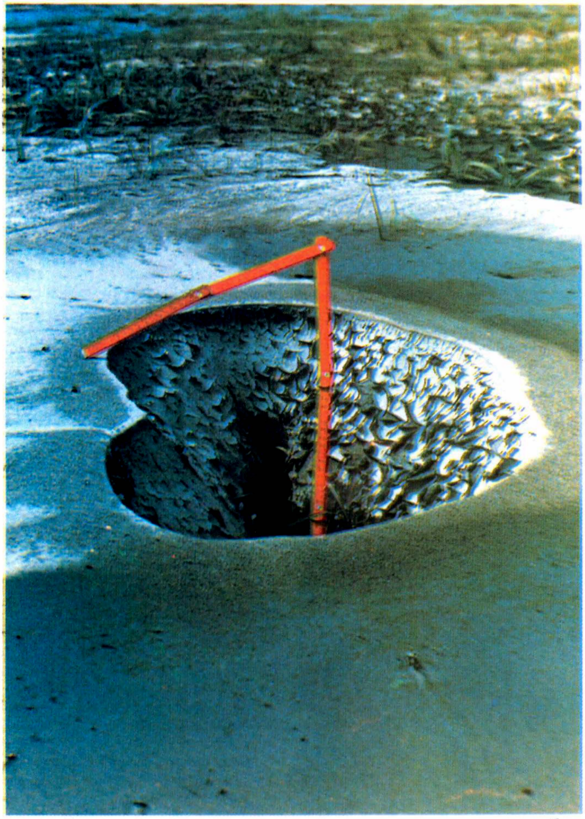
بیرون زدن منهول در اثر روانگرایی

زمینی که از خاک نرم و اشباع تشکیل یافته است در طول یک زلزله دچار روانگرایی شده است. چگالی خاک آبگونه شده تقریباً دو برابر همان حجم آب است. بنابراین میزان غوطه‌وری در خاک تقریباً دو برابر همان مقدار آب است. این میزان بالای غوطه‌وری باعث بیرون‌زدگی منهولی شده است که هرگز نمی‌تواند بر روی آب غوطه‌ور شود.
(زلزله نیگاتا، ژاپن، ۱۹٦٤)

۸۸◄ بیرون زدن منهول در اثر روانگرایی

دهانه ناشی از فوران ماسه

با وجود اینکه خاک‌های نرم و اشباع معمولاً در طول زلزله‌ها دچار روانگرایی می‌شوند، اما سطح زمین نمی‌تواند به راحتی دچار روانگرایی شود و دلیل آن این است که سطح آب زیرزمینی نسبتاً پایین است. در زیر عمق ۱۵ متر، از آنجایی که زمین در اثر وزن خودش تحت فشار قرار دارد، روانگرایی به سختی رخ می‌دهد. بنابراین در حالت کلی، عمق لایهٔ روانگرا شده، چندین متر می‌باشد. بخاطر فشار ناشی از وزن سطح زمین، خاک روانگرا شده به حالت جوشش درمی‌آید و باعث شکستن سطح زمین می‌شود. به این پدیده فوران، جوشش یا آتشفشان ماسه می‌گویند. با تعقیب مسیر جوشش ماسه می‌توان ابعاد منطقه روانگرا شده را نظیر عکس زیر بدست آورد.
(زلزله میاگی - کن - اکی، ژاپن، ۱۹۷۸)



۸۹< دهانه ناشی از فوران ماسه

نشست شمع‌های پل در اثر پدیدهٔ روانگرایی

روانگرایی باعث شده است که از میزان ظرفیت باربری خاک کاسته شود و بسیاری از شمع‌های پل در زمین فرو روند و یا کج شوند. مشاهده می‌شود که خاک جلوی عکس در اثر روانگرایی بیرون زده است. (زلزله جزیره‌لازون، فیلیپین، ۱۹۹۹)

۹۰< نشست شمع‌های پل در اثر پدیدهٔ روانگرایی

۹۱ در محلی که در آن خاکریزی شده به سرعت روانگرایی رخ می‌دهد.

در محلی که در آن خاکریزی شده به سرعت روانگرایی رخ می‌دهد.

زلزله فیلیپین باعث روانگرایی در قطعه زمینی شد که قبل از ساخت و ساز یک حوضچهٔ پرورش ماهی بود. این زمین در شهر داگاپان در مقابل دریای لینگابن واقع شده است. این حادثه باعث خسارت جدی به خانه‌های این منطقه شد. این عکس نمونه‌ای از صحنه‌های وحشتناک ایجاد شده است.

اجرای این ساختمان دقیقاً قبل از زلزله به پایان رسیده بود و لذا صاحب ملک به شدت متضرر شد.

(زلزله جزیره لازون، فیلیپین، ۱۹۹۰)

۹۲ ساختمانهای بسیاری کج شدند.

ساختمانهای بسیاری کج شدند.

شهر آداپازاری در استان ساکاریای ترکیه، در زلزله سال ۱۹۹۹ ترکیه دچار روانگرایی شدیدی شد. نوع خاک این شهر ماسه‌ریز و بسیار نرم می‌باشد و سطح آب زیر زمینی بین ۸۰ سانتی‌متری تا ۲ متری سطح زمین بوده‌است و تعداد بسیار زیادی ساختمان که دارای پی گسترده بودند در شهر کج شدند و آنها که پی منفرد داشتند تقریباً تخریب شدند.

(زلزله کوجائلی، ترکیه، ۱۹۹۹)

۹۳ شکست پل ماگاسای‌سای در اثر پدیده روانگرایی

شکست پل ماگاسای‌سای در اثر پدیده روانگرایی

این پل ماگاسای‌سای است. پلی که شاهتیر آن در اثر فرو رفتن شمع‌هایش در زمین شکست. علت این امر روانگرایی زمین تحتانی بود. یک خرپای چوبی به هنگامی که ما به تحقیق در مورد خسارت زلزله مشغول بودیم جهت عبور و مرور ساکنین محل به پل متصل شده بود.

۹۴◄ لغزش ساختمان به درون آب

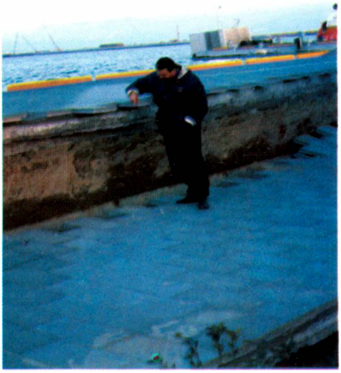
لغزش ساختمان به درون آب

منطقه ساحلی دریایی در ایزمیت ترکیه بسیار زیبا و محلی تفریحی و توریستی می‌باشد.در اثر روانگرایی و گسترش جانبی ساختمان این هتل به آرامی به داخل دریا رفته است. در این حادثه آنها که به بام رفتند نجات یافتند و آنها که به زیرزمین رفتند جان باختند.(زلزله کوجائلی، ترکیه، ۱۹۹۹)
(عکس از یکی از روزنامه های ترکیه)

۹۵◄نشست روستای نارواکان

نشست روستای نارواکان

روستای نارواکان در یک جزیره کوچک واقع شده است که تا خشکی فاصلهٔ کمی دارد. زمین این روستا دچار آبگونگی شد و نشستی در حدود ۲ متر در آن رخ داد. در هنگام بالا آمدن آب بخاطر جذر و مد، فقط سقف خانه‌هاست که بالای سطح آب قرار می‌گیرند. در اثر این واقعه در حدود ۳۰۰ نفر از اهالی آنجا به خارج از جزیره مهاجرت نمودند.
(زلزله جزیره لازون، فیلیپین، ۱۹۹۰)



۹۶◄ روستای نارواکان به هنگام «جذر»

روستای نارواکان به هنگام «جذر»

مناطق ساحلی جزیره زیبای پورت‌آیلند در زلزله کوبه دچار روانگرایی و گسترش جانبی گردیده، به این شکل درآمده‌اند. این جزیره که سومین بارانداز بزرگ جهان بود پس از وقوع زلزله و خسارات شدید به آن، رتبه خود را از دست داد و به مرتبه ششم سقوط کرد.(زلزله کوبه ،ژاپن،۱۹۹۵)

نشست خاکریز در اطراف یک اسکله

قسمتی از خاکریز اطراف یک اسکله به شکل چشمگیری دچار نشست شد و دلیل آن روانگرایی بود که در طول زلزله نیهون کای - چوبو (قسمت مرکزی دریای ژاپن) رخ داد.
(زلزله نیهون کای - چوبو، ژاپن، ۱۹۸۳)

۹۷◄ نشست خاکریز در اطراف یک اسکله

اپراتور جرثقیل؛ وحشت‌زده و متعجب

در بندر آکیتا، یک جرثقیل بزرگ تحت یک زاویهٔ چشمگیر کج شد که دلیل آن روانگرایی زیر شالوده جرثقیل بود. گفته می‌شود اپراتور جرثقیل که در هنگام کج شدن جرثقیل در کابین خود قرار داشته به شدت وحشت‌زده گردیده است.
(زلزله نیهون کای - چوبو، ژاپن، ۱۹۸۳)

۹۸◄ اپراتور جرثقیل؛ وحشت‌زده و متعجب

کج شدن شالودهٔ یک جرثقیل بزرگ

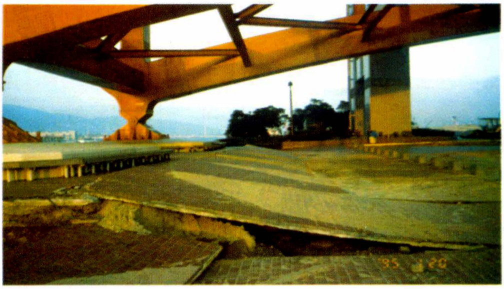
تمامی منطقه توسط حجم زیادی از ماسه‌ای که از زمین فوران کرده پوشیده شده است که دلیل آن پدیده روانگرایی می‌باشد. (زلزله نیهون کای- چوبو، ژاپن، ۱۹۸۳)

۹۹◄ کج شدن شالودهٔ یک جرثقیل بزرگ

۱۰۰◁ نمایی از یک چاه در نارواکان به هنگام پایین رفتن آب دریا (جذر)

نمایی از یک چاه در نارواکان به هنگام پایین رفتن آب دریا (جذر)

حجم زیادی از ماسهٔ روانگرا شده که از زمین فوران کرده است، در اطراف چاه قابل مشاهده است.
(زلزله جزیره‌لازون، فیلیپین، ۱۹۹۰)



۱۰۱◁ نشست پایه‌های پل بزرگ کوبه

نشست پایه‌های پل بزرگ کوبه

این نمای نزدیک از یکی از پایه‌های پل بزرگ کوبه، واصل بین جزیره پورت‌آیلند و سن‌نومیا به مرکز کوبه می‌باشد. جابجایی این پایه در اثر روانگرایی باعث گردید تا عرشه پل حدود یک‌متر فاصله پیدا کرده و غیر قابل استفاده شود. بعد از تعمیر موقت این پل برای اولین بار بعد از زلزله، توانستیم با ماشین به مرکز کوبه برویم.
(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۱۰۲◁ موجی شدن خیابان

موجی شدن خیابان

این صحنه خیابان موج‌داری را در جزیره پورت‌آیلند در شهر کوبه نشان می‌دهد. آنچه در سمت راست عکس ملاحظه می‌شود، پایه‌های مربوط به قطار اتوماتیک (بدون راننده) این جزیره می‌باشد که مسیر حلقوی را طی می‌کند. کسانی که واقعیت را دیدند و شما که عکس آنرا می‌بینید، شاید بسادگی متوجه علت این پدیده نشوید. بعضی آنرا ناشی از اثر موج زلزله می‌دانند. اما دلیل چنین پدیده‌ای این است که در اثر پدیده روانگرایی وسیع این جزیره بطور متوسط ۶۰cm نشست کرد. وجود شمعهای عمیق در زیر پایه‌های پل مانع از نشست آنها گردید و این امر موجب موجی شدن شکل زمین شد.

جزیره پورت‌آیلند جزیره مصنوعی است که در اوایل دهۀ ۱۹۷۰ میلادی ساخته شده و چون درجۀ تراکم و تحکیم آن خیلی زیاد نبوده است، دچار این نشست زیاد شد.
(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۰)

۱۰۳◄آبگونگی شدید در محلی که در آن خاکریزی شده بود

آبگونگی شدید در محلی که در آن خاکریزی شده بود.

بعد از جنگ جهانی دوم نسبت به بازسازی جزیره ایسلند اقدام شد و در این راستا جهت تأمین مصالح از سنگ و ماسه‌های کوه‌های راکو استفاده شدکه مصالح توسط تسمه نقاله از فاصله یک کیلومتری به محل‌های مورد نیاز در اطراف ساحل انتقال داده شد اما در این سیستم انتقال سنگ، ماسه و شن نکته‌ای نادیده گرفته شد: به دلیل عدم تخصیص وقت کافی جهت عملیات تحکیم در مناطق خاکریزی شده منطقه دچار آبگونگی شدیدی در اثر تکان‌های ناشی از زمین لرزه گردید.

(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۱۰۴◄ پایه بیرون آمده یا زمین نشست کرده است؟

پایه بیرون آمده یا زمین نشست کرده است؟

این عکس، نمایی نزدیک از یکی از پایه‌های «پورت‌لانیر» قطار اتوماتیک جزیره پورت‌آیلند می‌باشد. روانگرایی صحنه‌ای را بوجود آورده بود که مردم از خود می‌پرسیدند پایه پل بیرون آمده است یا زمین نشست کرده است؟

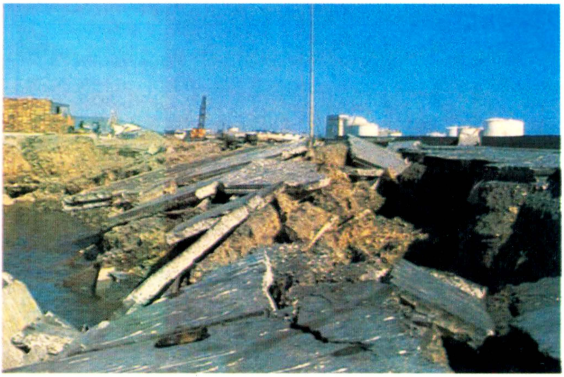
(زلزله کوبه، ژاپن ۱۹۹۵)

۱۰۵◄ واژگون شدن جرثقیل در اثر فرو ریختن دیوارهٔ اسکله

واژگون شدن جرثقیل در اثر فرو ریختن دیوارهٔ اسکله

یک اسکله در بندر سان‌آنتونیو در اثر روانگرایی در طول زلزله شیلی ویران شد. جرثقیلی که دراثر این حادثه واژگون شد، در این شکل دیده می‌شود.

(زلزله شیلی، شیلی، ۱۹۸۵)

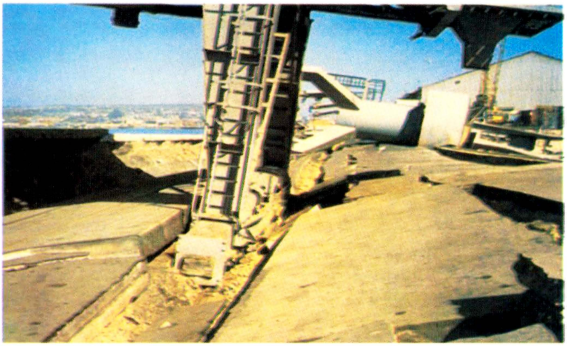


۱۰۶◄ دیوارهای اسکله به درون دریا فروریخت.

دیوارهای اسکله به درون دریا فروریخت.

بهترین نوع اسکله‌ها از باب تحمل و مقاومت در برابر زلزله‌ها، اسکله‌های ساخته شده با پایه‌های شمعی می‌باشد. ضعیف‌ترین نوع هم نوع «خاکریزی» می‌باشد که توسط عملیات خاکریزی احداث می‌شوند. این نوع اسکله‌ها توسط خاکریزهایی ساخته می‌شوند که حاوی ماسهٔ زیادی می‌باشند. اسکله‌ای را هم که در این عکس مشاهده می‌کنید از نوع خاکریزی می‌باشد. می‌بینید که روانگرایی در اینجا هم مشاهده شده است. اسکله کاملاً به درون دریا رانده شده است. این خسارتی است که در بندر سان آنتونیو شیلی رخ داده است.

(زلزله شیلی، شیلی، ۱۹۸۵)



۱۰۷◄ واژگون شدن یک جرثقیل عظیم

واژگون شدن یک جرثقیل عظیم

در بندر سان‌آنتونیو، زمین اطراف یک جرثقیل بزرگ در اثر روانگراییِ دچار تغییر شکل بسیاری گشت، به نحوی که جرثقیل به شکل خطرناکی کج شد.

(زلزله شیلی، شیلی، ۱۹۸۵)

نمونهٔ دیگری از برج پیزا

این آپارتمان مسکونی در اثر روانگرایی زمین در شالوده‌اش به آرامی کج شده است. کودکانی که در عکس گرفتن شرکت جسته‌اند از روی عمد خود را متناسب با زاویه کج شدن ساختمان کج کرده‌اند. کج شدگی در حدی نیست که بتوان به ساختمان عنوان «پیزای مدرن» را اطلاق نمود.

(زلزله جنوب ایتالیا، ایتالیا، ۱۹۸۰)

۱۰۸◄ نمونهٔ دیگری از برج پیزا

خانه‌های واقع در یک خاکریز سرخورده

زمین خاکریزی شده به طور محسوسی جابجا شده، همچنان که خانه‌ها هم دچار جابجایی گشته‌اند. در حالت کلی، پی‌های سرتاسری که کج شده‌اند، به شکل غیر یکنواختی نشست کرده و کاملاً ویران شده‌اند.
(زلزله نیهون کای - چوبو، ژاپن، ۱۹۸۳)

۱۰۹◄ خانه‌های واقع در یک خاکریز سرخورده

نشست ساختمان در اثر روانگرایی

در مکزیکوسیتی، این ساختمان به شدت کج شد و حدود یک متر در زمین فرورفت به نحوی که مردم برای ورود و خروج از داخل پنجره‌هایش عبور و مرور می‌کردند. علت این اتفاق روانگرایی در زیر ساختمان بود.
(زلزله نیهون کای ـ چوبو، ژاپن، ۱۹۸۳)

۱۱۰◄ نشست ساختمان در اثر روانگرایی

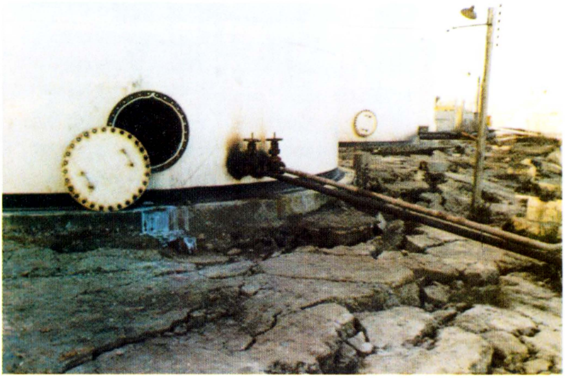
خرابی دیوار بلوکی در اثر پدیدهٔ روانگرایی

به آنچه که برای این دیوار ساخته شده با بلوک‌های بتنی در اثر روانگرایی در پی آن اتفاق افتاده است، نگاه کنید.
(زلزله نیهون کای - چوبو، ژاپن، ۱۹۸۳)

۱۱۱◄ خرابی دیوار بلوکی در اثر پدیدهٔ روانگرایی

آیا یک مخزن بزرگ هم به بالا رانده می‌شود؟

این تغییر شکل زمین است که در اثر آن یک مخزن حاوی مواد شیمیایی دچار تغییر شکل و آسیب‌دیدگی شده است. به گفته یک از شاهدان، در هنگام بروز سانحه چنین به نظر می‌رسید که گویی مخزن را گرفته و به طرف بالا می‌کشیده‌اند.
(زلزله شیلی ، شیلی ، ۱۹۸۵)



۱۱۲◄آیا یک مخزن بزرگ هم به بالا رانده می‌شود؟

مستغرق شدن زمینهای منطقه در دریا ، به دلیل تغییر شکل پوسته ای

در اثر زمین لرزه ناشی از یک گسل ، منطقه زیادی در دریا غوطه ور شد که دلیل آن بروز تغییرات پوسته ای در سطح زمین بود. در بازدیدهای مقدماتی که توسط رانندگان انجام شد، مشخص شد که بیشترین عمق غوطه‌وری ۵ متر بوده است.

همچنان که مشاهده می شود پارکها، درختان، وساختمانهای این منطقه در دریا غوطه‌ور شدند.
(زلزله کوجائلی، ترکیه، ۱۹۹۹)

۱۱۳◄مستغرق شدن زمینهای منطقه در دریا ، به دلیل تغییر شکل پوسته ای

کمانش در مسیر خط آهن در اثر پدیدهٔ روانگرایی

این یک خط آهن است که جهت عبور و مرور قطارهای باربری در بندر سان‌آنتونیو واقع شده است. اسکله در اثر روانگرایی زمین به شدت آسیب دید. لذا، مسیر خط آهن در وضعیت خطرناکی قرار گرفت. در مسیر راه آهن کمانش پدید آمد و در نتیجه تغییر شکل زیادی ایجاد گشت. (زلزله شیلی ، شیلی ، ۱۹۸۵)

۱۱۴◄ کمانش در مسیر خط آهن در اثر پدیدهٔ روانگرایی

۱۱۵◄ شکست پایه های یک پل

شکست پایه های یک پل

در حدود ۶۳۰ متر از بزرگراه هانشین(که بصورت روگذر در بالای جاده ۴۳ کوبه ـ اوزاکا ساخته شده است.) از یک طرف دچار فروریختگی شد.در مورد بزرگراههای ژاپن در داخل شهرها بیان این نکته لازم است که بعلت کمبود فضا اکثر قریب به اتفاق بزرگراههای شهر به صورت روگذر،به موازات و در بالای جاده‌های شهری ساخته شده است. این بزرگراهها بطور عمده توسط بخش خصوصی (تعاونیهای راهسازی) ساخته شده و با اخذ عوارض به خوبی اداره و نگهداری می شوند. این بزرگراهها نقش بسیار اساسی در حمل و نقل ژاپن دارند. به نظر می‌رسد که این بزرگراه برآمده توسط ضربه های شدید ناشی از زمین لرزه که از طرف راست با محور پل تصادم کرده‌اند، فروریخته باشد. براساس گفته‌های یکی از شاهدان که در هنگام زلزله در این مسیر مشغول رانندگی بوده است، سطح جاده به طور کاملاً واضح در حال بالا و پایین شدن بوده است. وضعیتی که بیانگر بروز پدیده رزونانس(تشدید) می‌باشد.

(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

فصل پنجم

خسارت وارد به سازه ها در اثر زلزله

عموماً، هم سازه‌های موجود در مهندسی عمران(نظیر سدها، پلها، تونلهاو...) و هم ساختمان‌ها، هر دو بر بستر زمین ساخته می‌شوند. یک سازه بی عیب و نقص و ایمن باید توانایی تحمل وزن خود را داشته و در برابر بارهای خارجی مثل وزش یک باد شدید، یا وقوع یک زلزله مقاومت داشته باشد. در غیر اینصورت آسیب پذیر تلقی می‌شود. در هنگام زلزله، جهت اعمال نیرو به سازه، در یک محدودهٔ زمانی مرتباً تغییر می‌کند. لذا، بررسی ارتباط بین حرکات زمین و ارتعاشات سازه‌ها امری ضروری بوده و یکی از موضوعات اساسی در علم مهندسی زلزله می‌باشد.

■ مراحل آسیب در مهندسی زلزله

مهندسین محاسب وطراح، سازه‌های مختلف را باتوجه به ضوابط استانداردها و آئین‌نامه برای مقاومت در مقابل نیروها و تغییر شکلهای وارده طراحی می‌نمایند که هریک از اعضاء سازه درصورت بروز شرایط بحرانی نیز در حاشیه اطمینانی نسبت به مقاومت مجاز یا نهایی قرار داشته باشند. درصورت تجاوز نیروها و تغییر شکل‌های وارده از مقادیر نهایی، عضو و درنهایت سازه دچار آسیب خواهد گردید که مرحلهٔ آسیب بوجود آمده می‌تواند ترک‌خوردگی عضو، انهدام عضو و یا درمجموع انهدام سازه باشد.

از دیدگاه مدیریت بحران در مهندسی زلزله این مراحل تفاوتهای زیادی با هم داشته و هریک، عوارض خاصی ازنظر اجتماعی- اقتصادی دارند. لذا مرحله آسیب در تصمیمات و تدابیر بعد از زلزله و بازسازی، نقش کلیدی دارد. مراحل آسیب و خرابی در جدول زیر بطور خلاصه با هم مقایسه شده‌اند :

جدول ٦ : مراحل آسیب وارد به سازه ها

مرحله	آسیب	ضربات انسانی، اقتصادی
ترک‌خوردگی	- بروز ترک‌های مرئی در اعضاء باربر - ترک‌های نامرئی که با آزمایشات قابل تشخیص است.	- تلفات انسانی ندارد. - مرمت و تعمیرات جزیی بوده و هزینه زیادی در بر ندارد.
انهدام اعضاء باربر	- ترک‌های با بازشدگی زیاد - خوردشدگی (بتنی و آجری)یا له‌شدگی (فولادی) بعضی از اعضا	- تلفات انسانی ندارد. - مرمت و تعمیرات نیازمند به هزینه، تجهیزات و زمان نسبتاً قابل ملاحظه‌ای می باشد.
تغییرشکلهای بزرگ(کج‌شدگی)	- تغییر هندسه سازه - ورود آسیب زیاد به اعضاء غیر باربر - آسیب به لوازم - عدم امکان بهره‌برداری	- تلفات انسانی کم - خسارات اقتصادی زیاد به لوازم و اعضاء داخلی - مرمت بسیار سخت، هزینه‌بر و زمان‌گیر - خسارات غیرمستقیم ناشی از عدم بهره‌برداری

انهدام سازه (ناقص یا کامل)	- انهدام تعداد زیادی از اعضاء باربر قائم - فرو ریختن اعضا سازه روی یکدیگر - سقوط مواد، مصالح و لوازم روی قسمتهای پائین‌تر	- تلفات انسانی زیاد - ازبین‌رفتن کامل سازه - عدم امکان مرمت و لزوم خردکردن و برچیدن سازه بطور کامل که بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر بوده و نیاز به تجهیزات پیشرفته و نیروی‌انسانی زیادی دارد. - خسارات اقتصادی غیرمستقیم ناشی از عدم بهره‌برداری - ضربات فردی و اجتماعی ناشی ازدست‌دادن بستگان و آوارگی و فقر

■ عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری

آسیب‌پذیری سازه‌های مختلف از جمله ساختمانها، مقوله‌ای چند بعدی است که وجود عوامل مؤثر مختلف در آن گاهی باعث بروز سؤالاتی از این قبیل است که :

الف) چرا از دو سازه مشابه در یک محل یکی خراب می‌شود و دیگری نه؟

ب) چرا بعضی از سازه‌ها در نزدیکی محل وقوع (مرکز زلزله) آسیب ندیده‌اند. در حالیکه دهها کیلومتر دورتر سازه‌های دیگر منهدم شده‌اند؟

ج) چرا بعضی سازه‌های نوخراب شده‌اند. در حالیکه بعضی سازه‌های قدیمی همچنان پابرجا مانده‌اند؟

د) چرا بعضی سازه‌های مرتفع و باریک سالم مانده‌اند. در حالیکه بعضی سازه‌های کوتاه و پهن منهدم شده‌اند؟

سؤالات دیگری از این قبیل نیز برای عموم مطرح است که پاسخ همهٔ آنها به عوامل مؤثر و نحوهٔ اثر آنها در آسیب‌پذیری برمی‌گردد. عمدهٔ عوامل مؤثر و نحوهٔ اثر آنها بطور خلاصه در جدول زیر ارائه گردیده است:

جدول ۷ : عوامل مؤثر در خرابی سازه ها

عامل	شرح	چگونگی تأثیر
گسل	- فاصله از گسل - امتداد سازه نسبت به امتداد گسل	- در شرایط یکسان نزدیکی به گسل عامل آسیب بیشتراست. - خسارات در امتداد عمود بر گسل بیش از امتداد موازی با گسل است.
محل سازه	- شیب محل استقرار - وضعیت لایه‌های خاک - وضعیت سطح آب زیرزمینی	- هرچه شیب محل استقرار سازه بیشتر باشد، احتمال آسیب بیشتر است. - هرچه لایه‌ها سست‌تر باشند، آسیب بیشتر خواهد شد. - وجود سطح بالای آب زیرزمینی بویژه در خاک‌های ماسه‌ای ریز، احتمال آسیب‌پذیری ناشی از روانگرایی را افزایش می دهد.

مشخصات سازه	- مصالح - سیستم بار - پریود طبیعی	- مصالح ضعیف و شکننده، آسیب بیشتری می بیند. - سیستمهای بدون مهاربندی (بادبندی و دیواربرشی)، آسیب بیشتری می‌بینند. - نزدیکی پریود حاکم زلزله با پریود طبیعی، باعث تشدید ارتعاش و افزایش دامنه جابجایی ها و آسیب زیاد می شود.
ساخت سازه	- مصالح مصرفی - اتصالات	- استفاده از مصالح نامناسب و با کیفیت کمتر از معیارهای طراحی باعث افزایش آسیب پذیری بیشتر در زلزله هستند.
تعمیر و نگهداری و بهره‌برداری	- خوردگی و زنگ زدگی - حذف بعضی اعضاء باربر بخاطر بهره‌برداریهای خاص - استفاده فوق ظرفیت از سازه - عمر سازه	- هرگونه خوردگی و زنگ زدگی باعث آسیب پذیری بیشترمی گردد. - حذف عناصر باربر مثل مهاربندها یا ستونها، آسیب ها را شدیداً افزایش می دهد. - استفاده فوق طاقت از سازه یا غیرمناسب از نظر ارزش اموال، می تواند خسارات را چندین برابر افزایش دهد. هرچه عمر سازه بیشتر باشد، آسیب پذیرتر می گردد.

■ تفاوت بین ساختمان و سایر سازه‌ها

در بین سازه‌های مهندسی عمران، ساختمان از اهمیت خاصی برخوردار است. به طوری که در بعضی کشورها نظیر ژاپن، مهندسی عمران به گروه مهندسی ساختمان و گروه مهندسی سیویل تقسیم گردیده است. در ایران عمدهٔ آموزشها و پژوهشهای دانشگاهی حول محور ساختمان بوده و توجه کمتری به سایر سازه‌ها می‌گردد.

هدف مهندسی عمران در نهایت رفاه انسانها می‌باشد، لذا برای زندگی روزمره انسانها، مسکن و ساختمان اجتناب‌ناپذیر است. لیکن قبل از تولید انبوه مسکن و ساختمان در یک منطقه، بایستی نسبت به ایجاد و احداث سازه‌ها و ابنیه دیگری که مقدمات زندگی شهری هستند، اقدام نمود. اینگونه سازه‌ها نظیر راه، راه‌آهن، پل، خطوط آبرسانی، گازرسانی، برق، مخابرات، جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب، سیلو، سد و از این قبیل را فراسازه یا سازه‌های بنیادی می‌نامند. لازم به ذکر است که بخشی از سازه‌های بنیادی که در قبال استفاده از آنها بایستی قبض ماهیانه پرداخت نمود، شریانهای حیاتی نامیده می‌شوند.

در اینجا بطور خلاصه تفاوتهای ساختمان با سازه‌های بنیادی از دیدگاه مهندسی زلزله ارائه شده است:

الف) بارزنده ساختمان، انسان می‌باشد. در حالیکه بار زنده سازه‌های بنیادی، غیرانسان می‌باشد. لذا در هنگام زلزله و آسیب به ساختمانها، جان انسانها درخطر بوده و احتمال تلفات زیاد می‌رود.

ب) تعداد ساختمانها نسبت به سایر سازه‌ها بسیار زیاد بوده و قابل مقایسه نمی‌باشد. درصورت بروز زلزله بخش وسیعی از خسارات شامل ساختمانهای آسیب دیده می‌باشد که می‌تواند باعث تلفات انسانی و خسارات بسیار زیاد گردد.

ج) سازه‌های ساختمانی بطورعمده در تملک اشخاص (حقیقی) هستند. در حالیکه سازه‌های بنیادی بطور عمده متعلق به دولت، شهرداری، تعاونیها یا شرکتها (اشخاص حقوقی) می‌باشد. لذا در صورت خسارت ناشی از زلزله هزینه‌های مربوطه برای مالکین ساختمانها سنگین بوده و درنهایت بایستی با مشارکت سیستم بانکی و کمکهای دولتی تأمین گردد.

د) ساختمانها سازه‌هایی منفرد بوده و خرابی آنها در هنگام زلزله مشکل عمده‌ای در خدمات عمومی ایجاد نمی‌کند. در حالیکه آسیب در سازه‌های بنیادی حتی در یک نقطه، باعث اختلال در خدمات عمومی می‌گردد. مثلاً خرابی در یک نقطه از شبکه آب، گاز، برق، مخابرات، راه‌آهن یا نظایر آنها باعث قطع جریان در بخشی از شبکه مربوطه می‌گردد.

■ نقاط ضعف در ساختمان‌سازی ایران

طراحی و ساخت سازه‌های مختلف از جمله ساختمان در هرکشوری تابع عوامل زیر می‌باشد:

الف) شرایط اقلیمی

ب) فرهنگ

ج) ساختارهای سیاسی- اقتصادی

د) سطح دانش فنی (دانایی)

ه) سطح فناوری (توانایی)

سازه‌های ساختمانی مختلفی که درحال حاضر در کشور ساخته می‌شوند، باتوجه به مناطق روستایی و شهری ایران عبارتند از:

الف) ساختمانهای خشتی در مناطق روستایی

ب) ساختمانهای بلوکی و آجری در مناطق روستایی و نیمه‌شهری

ج) ساختمانهای چوبی در مناطق جنگلی (شمال ایران)

د) ساختمانهای نیمه اسکلت فلزی با دیوارهای آجری در شهرستانها و حاشیه شهرهای بزرگ

ه) ساختمانهای فولادی در شهرستانها و شهرهای بزرگ

و) ساختمانهای بتن مسلح بطور عمده در شهرهای بزرگ

متأسفانه باتوجه به عدم رعایت استانداردها و آیین نامه‌های طراحی و ساخت سازه‌های مقاوم در مقابل زلزله، درگذشته شاهد خسارات و تلفات بسیار زیادی در مناطق زلزله‌زده بوده‌ایم. علیرغم اینکه زلزله‌های سده اخیر در مناطق دور از شهرهای بزرگ می‌باشد، لیکن تعداد زیاد قربانیان نشان می‌دهد که درصورت عدم توجه به نکات ایمنی در ساختمان‌سازی بایستی انتظار خسارات و تلفات بسیاری بیشتری را در شهرهای بزرگ لرزه‌خیز از جمله تهران، تبریز، شیراز، مشهد، کرمان، رشت، زنجان، قزوین، کرج و سایر شهرهای بزرگ دیگر داشته باشیم.

جدول صفحه بعد بطور خلاصه عمده‌ترین نقاط ضعف ساختمانهای ایران را درمقابل زلزله ارائه داده است:

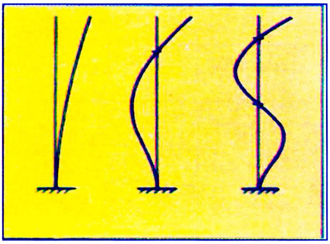
جدول ۸: نقاط ضعف عمده در ساختمانهای ایران

نوع ساختمان	نقاط ضعف	آسیب‌های احتمالی
خشتی	عدم وجود سیستم باربر جانبی، اتصالات نامناسب وزن سنگین	تخریب کامل، خسارات و تلفات زیاد
بلوکی و آجری	بطور عمده غیرمسلح هستند، سقف های غیر یکپارچه، وزن سنگین، اتصالات ضعیف	آسیب پذیری زیاد، خسارات و تلفات قابل توجه
چوبی	پوسیدگی، عدم مهاربندی جانبی، سقف های غیریکپارچه و بعضاً سنگین	آسیب زیاد، آتش سوزی، خسارات زیاد، تلفات نسبتاً کم
نیمه اسکلت	اتصالات ضعیف، سقف غیر یکپارچه و سنگین	آسیب، خسارات و تلفات قابل ملاحظه
فولادی	جوشکاری نامناسب، ضعف در مقابل حرارت، زنگ زدگی و خوردگی فولاد	احتمال تخریب طبقات همکف و اول، خسارت و تلفات کم
بتن مسلح	بتن ریزی و عمل آوردن آن، مشکل در اجرای اتصالات	آسیب پذیری زیاد ساختمانهای بدون دیوار برشی، رفتار شکننده تر نسبت به ساختمانهای فولادی، احتمال تخریب "پان کیکی" یا کلیه طبقات (چون سقفها شبیه لایه های کیک روی هم قرار می گیرند.)

■ ارتعاشات سازه‌ها در اثر زلزله

ارتعاش طبیعی

در حالت کلی، سازه‌ها دارای فرکانس‌ها و پریودهای معین (اولین، دومین، سومین، ...، n امین) ارتعاش می‌باشند که با آنها در شکل‌های مختلف ارتعاشی، نوسان می‌کنند. به این پریودها و فرکانسها، پریودهای طبیعی و فرکانسهای طبیعی گفته می‌شود. رابطه‌بین i اُمین پریود طبیعی T_i و i اُمین فرکانس طبیعی F_i به این نحوه بیان می شود: $Ti = 1/Fi$.پریود و فرکانس عکس یکدیگر می باشند یعنی وقتی فرکانس زیاد است پریود کوتاه است و وقتی فرکانس کم است پریود بلند است.



شکل ۲۲: ارتعاش سازه ای
تفکیک ارتعاش یک سازه ۳ درجه آزادی (مثلا یک ساختمان ۳طبقه) به ۳ حالت ارتعاشی (آنالیز مدال)

در مورد پریود طبیعی شاید اشاره به مثال تابی که بچه ای روی آن نشسته است، مفید باشد. وقتی شما تاب را از حالت تعادل خارج کرده و رها می کنید، تاب شروع به رفت و برگشت می کند که زمان یک دور کامل رفت و برگشت را پریود طبیعی آن می نامند. حال اگر اصطکاک در محل تکیه گاه تاب و همین طور مقاومت هوا نباشد، تاب برای همیشه نوسان می کند. در غیر اینصورت دامنه جابجایی آن کوتاه و کوتاهتر شده و در نهایت متوقف می گردد.

هنگامی که یک سازه تحت اثر یک نیروی خارجی نزدیک به این پریود طبیعی به ارتعاش در می‌آید، ارتعاشات شدیدی در سازه پدید می‌آید. به این پدیده رزنانس یا تشدید گفته می‌شود. اشکال مختلف ارتعاش در پاسخ به این پریودها در شکل ۲۰ نشان داده شده است.

برای درک بهتر پدیده «تشدید» مثال تاب را در نظر بگیرید. اگر زمان یک دور رفت و برگشت تاب یک ثانیه باشد و شما هم دست خود را در هر یک ثانیه و درست وقتی که تاب از کنار شما دور جدید خود را آغاز می کند بزنید و نیرو وارد کنید به نسبت نیروی وارده، دامنه جابجایی تاب افزایش پیدا می کند. طوری که ادامه کار موجب پرت شدن بچه از روی تاب خواهد شد.

در عمل،تاب مثال ساختمان و دست شما، مثال حرکت زمین می باشد که اگر پریود حرکت آنها به هم نزدیک باشد،امکان پدیده تشدید وجود داشته و باعث افزایش دامنه تغییر مکان و در نهایت انهدام ساختمان می گردد.

اثر رزنانس یا تشدید در سازه‌ها ، ناشی از زلزله

ارتعاش ناشی از یک زلزله یک حرکت پیچیده است. بنابراین یک سازه ممکن است پریود نوسانی را تجربه نماید که در اثر آن تحت یک حرکت پیچیدهٔ ارتعاشی به لرزش در آمده است و درنتیجه مایل به رزنانس با آن ارتعاش می‌شود. در صورتی که تعدادی از پریودهای طبیعی سازه با ارتعاشات زلزله همخوانی داشته باشد، میزان رزنانس یا تشدید افزایش می‌یابد. این امر دامنه تغییر مکان‌های سازه را افزایش داده که ادامه آن منجر به خرابی سازه می گردد.

نمونه‌های مختلفی از سازه‌های مهندسی ساز نظیر پلها، سدها، تونلها، خاکریزها، جاده‌ها، بندرگاهها و ... ممکن است در معرض زلزله قرار گیرند. بتن، فولاد و سایر مصالح در ترکیبات گوناگونی برای بنای این سازه‌ها توسط مهندسین مورد استفاده قرار می گیرند. لذا، مقاومت این سازه‌ها در برابر زلزله‌های مختلف متناسب با مصالح به کار رفته، تغییر می‌کند. در بیشتر مواقع، سازه‌های خاکی مقاومت بالایی در برابر زلزله‌ها از خود نشان نمی‌دهند.

خسارت وارد به پلها

انواع مختلف خسارت وارد به پلها توسط زلزله‌ها شامل :شکسته شدن تکیه‌گاه شاهتیرها، شکستن و افتادن تیر اصلی، تغییر شکل و خرابی در شمع‌ها و پی پلها و نشست در خاکریز تکیه‌گاه پلها می‌باشد.

هم اکنون در ژاپن، حوادث ناشی از افتادن تیر اصلی کاهش یافته است و دلیل آن استفاده و نصب وسایلی است که از چنین واژگونی‌هایی در پلها جلوگیری می‌نمایند.

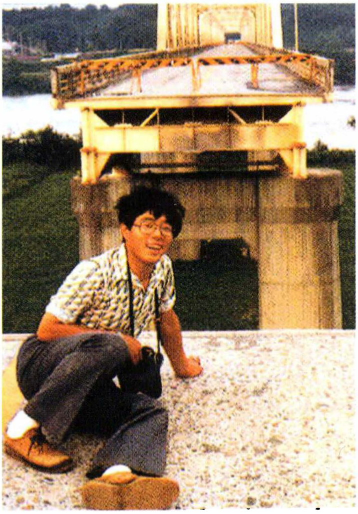
افتادن دال در اثر لرزش زمین

با وجود آنکه این پل نسبتاً از مرکز زلزله دور بوده است (بیش از ۱۵۰ کیلومتر)،گفته می‌شود که فرو ریختن شاهتیر این پل به دلیل ضعف در برابر تکان‌های زلزله بوده است. از آنجایی که هم اکنون در ژاپن، به منظور جلوگیری از سقوط تصادفی پلها، بست‌های تیرهای اصلی عموماً چنان طراحی می‌شوند که از هر دو طرف به شاهتیر مجانبشان متصل گردند، چنین خساراتی دیگر هرگز به وقوع نمی‌پیوندد.
(زلزله میاگی – کن - اکی ، ژاپن، ۱۹۷۸)

۱۱۶ ◄ افتادن دال پل در اثر لرزش زمین

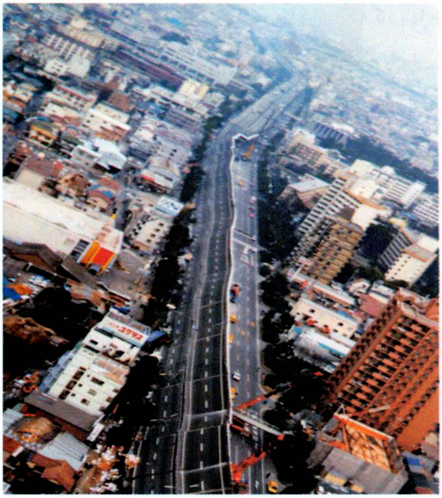
عدم استفاده از اتصال پیچ در دال پل

دلیل ریزش پل را قرار داشتن تیر اصلی بر روی تکیه‌گاه‌ها (بدون هیچگونه مهاری) بیان کرده‌اند. هیچ گونه اتصال پیچ موقتی، حتی در دو انتهای تیر، استفاده نشده بود.
(زلزله میاگی – کن - اکی ، ژاپن، ۱۹۷۸)


۱۱۷ ◄ عدم استفاده از اتصال پیچ در دال پل

نمای هوایی از بخش فروریخته بزرگراه هانشین

امتداد کناره‌های مچاله شده بزرگراه به وضوح مشاهده می‌شود.این نمای نزدیک پایه شماره۱۲۶ از بزرگراه هانشین شماره ۳ می‌باشد که همراه با ۱۷ پایه دیگر بطور همزمان سرنگون شدند.این ۱۸ پایه بطور همزمان طوری ساخته شده بودند که پایه وتیر اصلی (girder) و عرشه (deck) بصورت یکپارچه بتن ریزی شده بودند و عرشه ها در وسط دهانه بین ستونها به هم متصل بودند. در هنگام بتن ریزی در ارتفاعی حدود ۲/۵ متر بالای سطح پی، بتن ریزی و آرماتورها قطع شده بودند.



۱۱۸◄ نمای هوایی از بخش فروریخته بزرگراه هانشین

در بتن ریزی بعد که چند روز بعد از بتن ریزی قبلی صورت گرفت، میلگردهای طولی تماما در یک مقطع به میلگردهای جدید جوش شده و بتن ریزی انجام شد.

اتصال عرشه به تیر اصلی،جوش آرماتورها در یک مقطع و بتن ریزی گسسته و به صورت فوق از عوامل اصلی تشدید ارتعاش و ضعف عملکرد در محل جوش آرماتورها بوده است که در مجموع باعث خرابی همزمان این ۱۸ پایه گردید.

(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

نمای نزدیکی از یکی از پایه‌های پل

همچنان که مشاهده می‌شود، آرماتورهای تقویت کننده طولی در وضعیت مناسب و با تعداد کافی نصب شده بودند ، اما از قیدهای عرضی اندکی استفاده شده است که باعث پدید آمدن کمانش در آرماتورهای طولی شده است. آرماتورهای عرضی نقش مهمی در ایجاد خاصیت شکل‌پذیری عمودی در سازه دارند که کمبود آنها موجب بروز ضعف در سازه شده بود. تکه‌های پراکندهٔ بتنی در اطراف قابل مشاهده است.

(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۱۱۹◄ نمای نزدیکی از یکی از پایه‌های پل

ویرانی مسیر راه‌آهن در امتداد رودخانه باینو

خسارت قابل توجهی به خط آهنی که در امتداد رودخانه باینو قرارداشت، وارد آمده است. قسمت بالادست رودخانه «ساگامی » نامیده می‌شود و پایین دست آن را «ساکاوا» گویند. فونداسیون و همچنین شمع‌های پی پل، در اثر روانگرایی زمین ویران شدند.

(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۱۲۰◄ ویرانی مسیر راه‌آهن در امتداد رودخانه باینو

ویرانی یک پل دو طبقه

نحوهٔ طراحی این پل دو طبقهٔ بلند، از لحاظ پایداری در برابر تنش‌های ناشی از بارگذاری جانبی زلزله باعث ناتوانی شدید آن شده است. انتهای ستونهای طبقهٔ دوم تنها توسط چهار آرماتور به ستونهای طبقهٔ اول متصل شده بودند. در نتیجه در این اتصالات گسیختگی برشی صورت پذیرفته است و طبقهٔ دوم پل به کلی فروریخت. (زلزله لوماپریتا، آمریکا، ۱۹۸۹)

۱۲۱ ◄ویرانی یک پل دو طبقه

نمایی نزدیک از طرف دیگر پل

این پل عظیم به دلیل شکستگی ستون‌هایش در هر دو طرف، فروریخت. طی بررسی و تحقیق در مورد ستونها مشاهده شد که تنها ٤ آرماتور در محل اتصال ستونها وجود داشته است. در واقع کمبود میلگرد باید باعث این گسیختگی برشی شده باشد.
(زلزله لوماپریتا، آمریکا، ۱۹۸۹)

۱۲۲ ◄تصویری از قسمت روبروی پی

فروریختگی پایه‌های پل RC (بتن مسلح)در مسیر قطار خط آهن سوپر اکسپرس

در طول زلزله کوبه بسیاری از این پل‌های RC فروریختند که علت بسیاری از این فروریختگی‌ها در اثر زیاده از حد بودن فاصله بین آرماتورها عرضی بوده است که این آرماتورهای خاصیت شکل‌پذیری در برابر برش به پایهٔ پل‌ها می‌دهند. (درشکل بروز کمانش درآرماتورهای طولی را میتوان دید.)
(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۱۲۳ فروریختگی پایه‌های پل RC در مسیر قطار خط آهن سوپر اکسپرس

فروریختن پل ماگاسای‌سای بلافاصله بعد از زلزله

در اثر پدیده روانگرایی که در زلزله فیلیپین به وقوع پیوست، پل ماگاسای‌سای در شهر داگاپان به شدت آسیب دید. اعتقاد بر این است که پایه‌های پل به طور محسوسی در زمین فرو رفته‌اند که علت این امر روانگرایی در بستر زمین بوده است.
(زلزله جزیره لازون، فیلیپین، ۱۹۹۰)

۱۲۴ فرو ریختن پل ماگاسای‌سای بلافاصله بعد از زلزله

فروریختن پل در هنگام ناهار

در اثر پایین رفتن شمع های پل در زمین، که بخاطر روانگرایی لایه‌های زیرین زمین اتفاق افتاد، تیر اصلی پل فرو ریخته است.
دستگاههای مسوول چندین روز بعد از زلزله از طرف یکی از شهروندان، گزارشی مبنی بر فرورفتن تدریجی پایه‌های پل در زمین دریافت کردند. لذا نسبت به ثبت تراز سطح پل اقدام شد، اما هنگامی که بعد از ظهر فردا رسیده بود و کارگران برای ناهار به منازل خود بر می‌گشتند، در هنگام مراجعه متوجه شدند که این خرابی روی داده است. (زلزله شیلی، شیلی، ۱۹۸۵)

۱۲۵ فرو ریختن پل در هنگام نهار

نحوهٔ ویرانی پیچیده و سؤال برانگیز یک بزرگراه

در زلزله سال ۱۹۷۱ سانفرانسیسکو، پل یک بزرگراه در دست ساخت فروریخت. یک پل مربوط به تقاطع غیرهمسطح از همان بزرگراه نیز در اثر زلزله ۱۹۹۴ نورتریج فروریخت. این دو پل کمتر از چند صدمتر با یکدیگر فاصله داشتند. در این تصویر مشاهده می کنید که یکی از پایه‌های پلی که در ۱۹۹۴ فروریخت، سطح شاه تیر پل را سوراخ کرده و موجب فرو ریختن پل شده است.

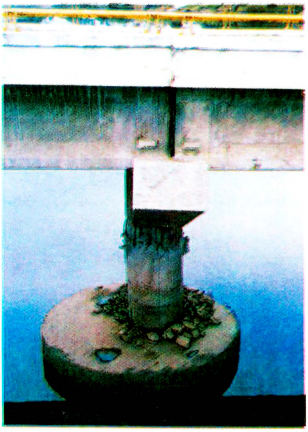
(تهیه و تنظیم: دانشگاه کالیفرنیا ـ برکلی)

(زلزله نورتریج، آمریکا، ۱۹۹۴)

۱۲۶ نحوهٔ ویرانی پیچیده و سؤال برانگیز یک بزرگراه

آسیب دیدگی در پایه‌های پل لاسارو کاردنس

قسمت‌های فوقانی از پایه‌های پل لاسارو واقع در یک شهر ساحلی که در نزدیکی مرکز زلزله مکزیک قرار دارد، دچار آسیب دیدگی شدند. مقدار زیادی از بتن سطحی کنده شد و ریخت. آرماتوربندی داخل ستون به وضوح مشاهده می‌شود. (زلزله میشیگان، مکزیک، ۱۹۸۵)



۱۲۷ پایه پل آسیب دیده لاساروکاردناس

یک اتوبوس خوش‌شانس

این اتوبوس تا مرز سقوط از شاهتیر پل این بزرگراه پیش‌رفت ولی سانحه‌ای رخ نداد. راننده و تمامی مسافرین سالم ماندند.

(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۱۲۸ یک اتوبوس خوش‌شانس

له شدن یک اتومبیل در بزرگراه سی‌پرس

در سانفرانسیسکو به هنگام بروز زلزلهٔ لوماپریتا یک اتومبیل در زیر پل دو طبقهٔ بزرگراه سیپرس، خرد شد و از بین رفت. علت این امر سقوط بخشی از دال بتنی طبقهٔ دوم پل بود. (زلزله لوما پریتا، آمریکا، ۱۹۸۹)

۱۲۹◄ له شدن یک اتومبیل در بزرگراه سی‌پرس

سوراخ شدن عرشه پل توسط پایه‌های آن

نمونهٔ خیلی نادری از خسارت وارد به یک پل اتفاقی بود که برای پل بزرگراهی که در نزدیکی مرکز زلزله لوما پریتا قرار داشت، رخ داد. یکی از پایه‌های پل مانند یک ستون بتن آرمه، صحفه دال بتنی را سوراخ کرده و از آن خارج شد که علت آن پایین رفتن عرشه بخاطر از دست دادن تکیه گاهش بود. خط باقیمانده از تایر اتومبیل نشان دهندهٔ آن است که راننده اتومبیل مجبور به ترمز گرفتن ناگهانی در هنگام ظاهر شدن ستون بتنی در مقابل خودش شده است.
(زلزله لوماپریتا، آمریکا، ۱۹۸۹)

۱۳۰◄ سوراخ شدن عرشه پل توسط پایه‌های آن

نشست خاکریز انتهای پل

پل‌ها معمولاً به ندرت دچار نشست می‌شوند و دلیل آن صلب ساخته شدن فونداسیون آنها می‌باشد. در هنگام اجرا، خاکریزی را که در نزدیکی پل‌ها قرار دارد، مخصوصاً قسمتی که در کنار تکیه‌گاه واقع شده است را به سختی می‌توان متراکم نمود. معمولاً این قسمت خاکریز در اثر نشست زمین (مطابق عکس) غیر قابل عبور می‌شود.
(زلزله شیلی، شیلی، ۱۹۸۵)

۱۳۱◄ نشست خاکریز انتهای پل

فروریختن پل در اثر روانگرایی خاک پی

به دلیل آنکه زمین اطراف شمع‌های پل که عرشه بر روی آن قرار داشته است، دچار روانگرایی شده است، ناچار شمع‌ها در زمین نشست کرده‌اند و لذا تیر اصلی دچار شکستگی و سقوط شده است. همچنین پایهٔ دیگر هم به مقدار زیادی در زمین فرورفته است. این آسیب‌دیدگی در شهر سان آنتونیو رخ داده است.
(زلزله شیلی، شیلی، ۱۹۸۵)

۱۳۲◄ فروریختن پل در اثر روانگرایی خاک پی

آسیب‌دیدگی تکیه‌گاه در یک پل ساخته شده با بتن پیش تنیده(PC)

این تغییر شکل و خرابی در تکیه‌گاه یک پل PC (بتن پیش تنیده) بر روی رودخانه تاگلیمنتو در حومه شهر جمونا ایجاد شده است (شمال ایتالیا). دلیل اتفاق را ضربهٔ شدید ناشی از زلزله حدس می‌زنند. سالها بعد، هنگامی که برای بازدید مجدد پل رفتم، مشاهده کردم که توسط مواد چسبانندهٔ پلاستیکی پل به شکل زیبایی تعمیر شده بود.
(زلزله فریلی، ایتالیا، ۱۹۷۶)

۱۳۳◄ آسیب‌دیدگی تکیه‌گاه در یک پل ساخته شده با بتن پیش تنیده(PC)

سقوط متوالی دالهای بتنی

درست پس از اتمام ساخت شوا - اُهاشی (پل بزرگ شوا)، زلزله نیگاتا روی داد. پایه‌ها در قسمت چپ این تصویر در زمین فرورفتند که علت آن روانگرایی زمین زیر رودخانه بود. شاهتیرها یکی پس از دیگری سقوط کردند. (زلزله نیاگاتا، ژاپن، ۱۹۶٤)

۱۳٤◄ سقوط متوالی دالهای بتنی

طراحی در برابر زلزله و خسارت آن

بزرگراه در دست ساخت در این عکس که در حوالی لس‌آنجلس واقع است، در اثر زلزله سان‌فرنادو به شدت دچار آسیب‌دیدگی شد. در آیین‌نامه‌های قبلی آمریکا جهت طراحی مقاومت در برابر زلزله، در حدود ٪۴ از وزن پل به عنوان بار جانبی زلزله در نظرگرفته می‌شد. اما بعد از این زلزله بار طراحی به حدود ٪۱۰ تغییر یافت، یعنی بیش از دو برابر بارگذاری در حالت قبل. این تنها نصف مقداری است که در ژاپن در طراحی‌ها منظور می‌گردد.(در حدود ٪۲۰)

(زلزله سان‌فرنادو، آمریکا، ۱۹۷۱)

۱۳۵< طراحی در برابر زلزله و خسارت آن

قوس‌ها قوی هستند!

این خرابی و خسارتی است که در قسمتی از یک پل قوسی ایجاد شده است. به خود قوس خساراتی وارد نیامده است. در واقع سازهٔ قوسی (گنبدی) دارای مقاومت بالایی در برابر ضربات زلزله می‌باشد.

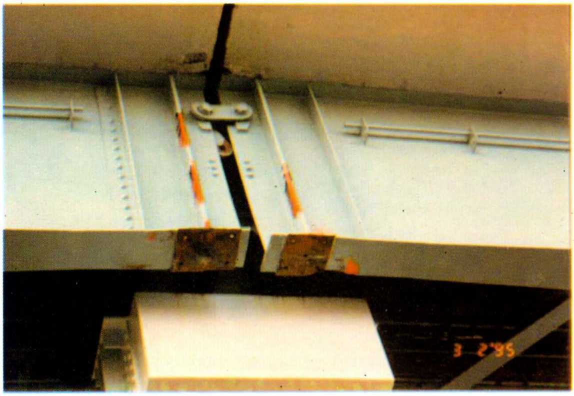
(زلزله اُیتا-کن-چوبو، ژاپن، ۱۹۷۵)

۱۳۶< قوس‌ها قوی هستند!

اهمیت فهم مهندسی در ممانعت از فاجعه

تیرهای اصلی فلزی از روی تکیه‌گاه حرکت کرده و جدا شده‌اند. بستی که در بالای جان تیرها وجود دارد نقش مؤثری در عدم جدایی این دو تیر از هم داشته است. توجه کنید که بستی که در داخل وجود داشته، بریده است. این عکس یکی از عرشه‌های بزرگراه هانشین شماره ۳ در کوبه می‌باشد.

(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

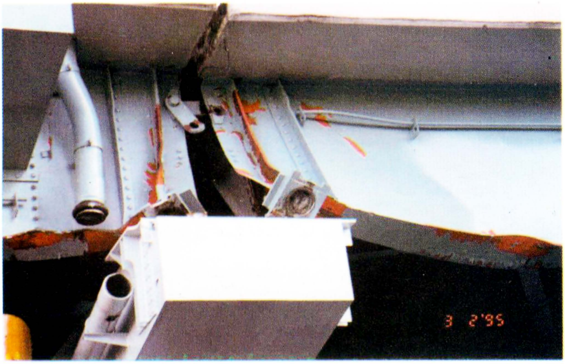


۱۳۷< اهمیت فهم مهندسی در ممانعت از فاجعه

نیروهای ناشی از زلزله واقعا شدید هستند.

تکان وارده در زلزله کوبه به این عرشه چنان بوده است که هم‌جان تیر ورق‌ها دچار لهیدگی و تابیدگی گردیده است و هم بست‌های نگهدارنده افقی جان‌های تیر ورق پاره شده‌اند. شاید این چنین پدیده‌ای طراحان را بیشتر متوجه قدرت نیروهای وارده و اثرات موضعی آنها بنماید.

(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

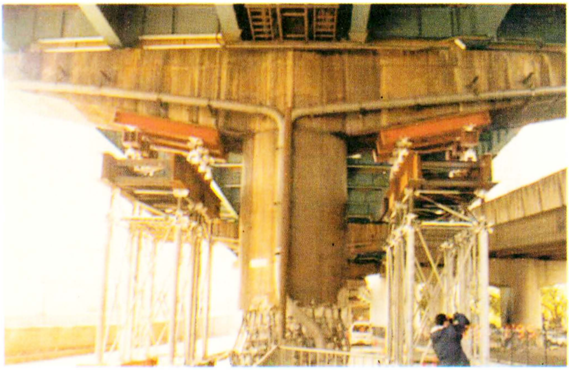


۱۳۸< نیروهای ناشی از زلزله واقعا شدید هستند.

شکست پایه ها حتی با بعد بیش از سه متر

در ژاپن بخاطر کمبود فضا، بزرگراه‌های زیادی بصورت مرتفع بر روی پایه‌های اینچنینی ساخته شده‌اند. ابعاد پایه‌های تک ستونی گاهی اوقات به بیش از ۳ متر می‌رسد. زلزله آنچنان این پایه‌ها را به لرزه درآورد که بیش از ۷۰۰ پایه پل در منطقه کوبه و اطراف آن شدیداً آسیب دیدند. زیادبودن فاصله خاموت‌ها که براساس آئین‌نامه‌های قبلی بوده است. از اصلی‌ترین عوامل آسیب این پایه‌ها بود.

(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

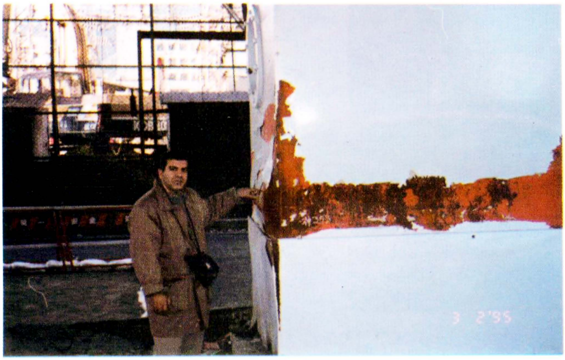


۱۳۹<شکست پایه ها حتی با بعد بیش از سه متر

انرژی زیاد حتی فولاد را نرم می کند.

کمانش ورق‌های این ستون بزرگ قوطی شکل بیانگر فشار وارده بسیار زیاد به آن می‌باشد. علاوه بر کمانش، شاهد جدایی ورق‌ها از محل اتصال به یکدیگر نیز می‌باشیم. عملکرد ستون‌ها و تیرهای فلزی بکار رفته در پل‌ها و بزرگراه‌های روگذر قابل قبول بود. مؤلف دوم محل کمانه کرده را نشان داده است.

(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)



۱۴۰<انرژی زیاد حتی فولاد را نرم می کند.

■ خسارت وارد به سدها

سد ها سازه هایی هستند که به دلایل زیر با دقت و ضریب اطمینان بالایی طراحی می‌شوند:

- اهمیت آنها در تأمین آب که ضروری ترین نیاز جامعه است.
- خسارات بسیار زیاد ناشی از شکست احتمالی آن
- وجود عوامل متعدد متاثر در رفتار سد در طول عمر مفید آن

لذا آسیب سدها در طول عمر مفید آنها در هنگام زلزله بسیار کاهش یافته است. لیکن این به معنای آن نبود که آسیب در سدها در زلزله‌ها نمی‌باشد. نمونه‌ای از آسیب سدها در زلزله‌های گذشته عبارتند از:

۱- ترک‌خوردگی شدید سد کوینا(koyna) درهند در سال ۱۹۶۷

۲- آسیب شدید در سد سین فن کیانگ در چین در سال ۱۹۶۲

۳- آسیب سد سفیدرود در ایران در خرداد سال ۱۳٦۹

٤- انهدام سد شی‌کانگ(shih-kang) در تایوان در سال ۱۹۹۹

نمونه های متعددی نیز از اثر زلزله بر سدهای خاکی و سنگریزه‌ای مشاهده شده است که بطور عمده ناشی از افزایش فشار منفذی در بدنه سد بوده و در نهایت با نشست یا شکستگی سد همراه بوده استنمونه هایی از آسیب های وارد به سدهادر عکسهای ۱٤۱ تا ۱٤٦ ارائه می شود:

۱٤۱> لغزش در قسمت بالا دست سد خاکی

لغزش در قسمت بالا دست سد خاکی

قسمتی از یک سد خاکی (سد «بان نورمن» در ساباراس، لوس آنجلس) که در سمت مخزن دچار فروریختگی شد، مشاهده می‌شود. از آنجایی که از تاج سد به عنوان جاده استفاده می‌شده است، باقیمانده‌های روسازی آسفالتی قابل مشاهده است (سمت راست). چون خاک در برابر ضربات زلزله مقاومت ضعیفی داراست، لذا سد به طرف مخزن دچار لغزش و ریزش می‌شود. گفته می‌شود که فروریختگی این سد در اثر پدیدهٔ روانگرایی در زیر مخزن سد بوده است. (زلزله سانفرانسیسکو، آمریکا، ۱۹۷۱)

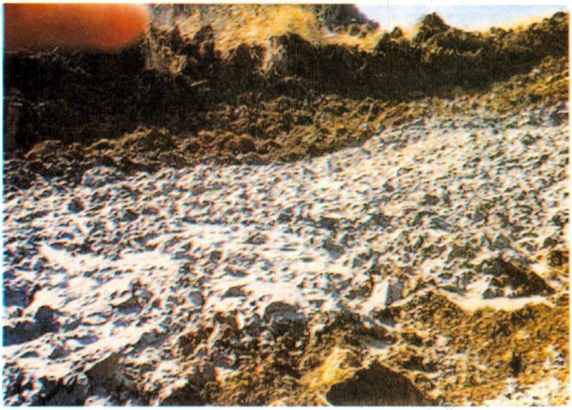
روانگرایی تفاله‌های صنعتی در معدن «موچیکوشی»

یک سد خاکی که از آن به منظور نگهداری تفاله های معدن میچیکوشی استفاده می‌شد، در اثر زلزله جزیره «ایزو-اُشیما-کینکای» فروریخت وحجم زیادی از تفاله‌ها از درز ایجاد شده در سد به بیرون جاری شدند. در آن محل از سیانید جهت استخراج طلا ازسنگ معدن استفاده شده بود. وجود این ماده در مواد جاری شده باعث مرگ بسیاری از ماهیها در رودخانهٔ کانو شد. شهرها، روستاها و مناطق بسیاری که از آب این رودخانه جهت شرب استفاده می‌نموند دچار مشکلات جدی شدند. تا آن زمان چنین گمان می‌شد که موادی مانند تفاله‌ها که دارای دانه‌هایی حداکثر در حدود اندازهٔ دانه گندم و از لحاظ دانه‌بندی شبیه دانه‌بندی سیلت (که نرم‌تر از شن است) می‌باشند، خیلی به سختی دچار روانگرایی می‌شوند. رخداد این حادثه (یعنی این روانگرایی) بدین معنی بود که نقش مواد ریزدانه در روانگرایی خاک باید مجدداً مورد تحقیق و پژوهش قرار گیرد.

تفاله‌هایی که در طول زلزله به حالت روانگرایی درآمدند، جاری شدند و سپس در حالتی شبیه به جریان امواج سخت و محکم گردیدند.

(زلزله ایزو-اُشیما-کینکای، ژاپن، ۱۹۷۸)

۱۴۲◄ روانگرایی تفاله‌های صنعتی در معدن «موچیکوشی»



۱۴۳◄ تفاله‌های آبگونه شده در حالتی شبیه به جریان امواج سخت گردیدند

جریان سفید رنگ سیانید در درون تفاله‌ها

تفاله‌های صنعتی معدن میچیکوشی که محتوی مقدار زیادی سیانید غلیظ در خود بودند به رودخانه کانو جاری گردیدند. جریان سفیدی که در حال ورود به آبهای بندرگاه سارگا است، در تصویر دیده می‌شود.

(زلزله ایزو-اُشیما-کینکای،ژاپن،۱۹۷۸)

۱۴۴◄ جریان سفید رنگ سیانید در درون تفاله‌ها

۱۴۵◄ رزنانس آب در دریاچه سد آبیاری

رزنانس آب در دریاچه سد آبیاری

در یک سد کشاورزی آب از روی خاکریز سد، سرریز نمود که دلیل آن پدیدهٔ رزنانس بین امواج مرتعش آب و یک زلزلهٔ ناگهانی بود. در دریاچهٔ سد آب از چپ تا راست به حرکت درآمد و از روی تاج به بیرون سرازیر گشت. مردی که درسمت چپ تصویر قرار دارد در حال جستجو با یک میلهٔ فلزی به دنبال یکی از اعضای خانواده است که در این سانحه ناپدید شده است.

(زلزله توکاچی-اُکی، ژاپن، ۱۹۶۸)

ترکهای ایجاد شده در یک سد خاکی

ترکهای بسیاری در بالای خاکریز این سد خاکی مشاهده می‌شوند.

(زلزلهٔ شیلی، شیلی، ۱۹۸۵)

۱۴۶◄ ترکهای ایجاد شده در یک سد خاکی

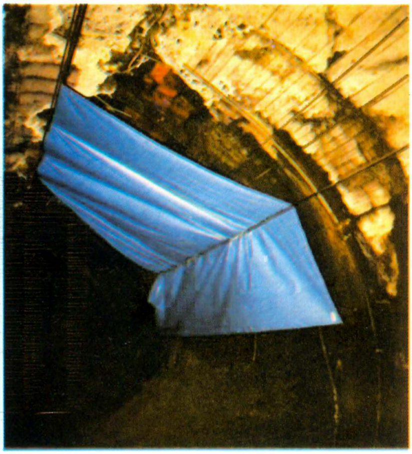
■خسارات وارد به تونلها

قوسهای سازه‌ای دارای مقاومت فوق‌العاده بالایی در برابر زلزله می‌باشند. گزارشها حاکی از آن بودند که در سال ۱۹۲۳ که زلزله عظیم کانتو رخ داد تقریباً تمامی پلها بجز پلهای قوسی شکسته شده و فروریختند. تونلها هم جزء سازه‌های قوس‌دار محسوب می‌شوند و لذا این امر یکی از دلایل مقاومت بالای آنها در برابر زلزله‌ها می‌باشد. در تمام تحقیقات و سرکشی‌هایی که به مناطق مختلف زلزله‌زدهٔ دنیا داشته‌ام، با موارد معدودی از خسارت جدی به تونلها در اثر زلزله مواجه شده‌ام.

یکی از مواردی که در آن به تونل آسیب نسبتاً جدی وارد شده بود، هنگامی بود که خود گسل تونل I شکل را قطع کرده بود. گسلی که باعث بروز زلزله کینکـــای در سال ۱۹۷۸ در دریای ایزو-اُشیما شد، از درون تونل I شکلی که مسیر قطار برقی ایزو-کیوکو از آن می‌گذشت، عبور کرده بود و باعث آسیب‌دیدگی این تونل شد.

تونلی که در اثر عبور گسل از آن دچار آسیب دیدگی شد.

گسل زلزله از درون تونل «ایناتوری» در مسیر خط سریع‌السیر ایزو-کیوکو عبور کرد. درنقطه‌ای که به نظر می‌رسد که در مقطع به سبب فشار زیاد خارجی، فرورفتگی ایجاد شده است، شکاف‌هایی پدیدار گردیده است. شکافها در قسمت بالایی پوشش بتنی ایجاد شده‌اند.
(زلزله ایزو-اُشیما-کینکای، ژاپن، ۱۹۷۸)



۱۴۷◄ تونلی که در اثر عبور گسل از آن دچار آسیب دیدگی شد.

فروریختن ستون‌های میانی یک ایستگاه مترو

این اولین نمونه وارد آمدن خسارت جدی مسیر یک زیرگذر در دنیا می باشد. به دلیل اینکه استفاده گسترده از زیرگذرها مربوط به سالیان اخیر می‌باشد و زلزله‌های گذشته عموماً در مناطقی رخ داده‌اند که در آنها زیرگذری نبوده است، لذا پیش از این، گزارش‌های خاصی از خسارات وارده به زیرگذرها وجود نداشته است.

مشاهدات لرزه‌شناسی بر این مسأله دلالت دارند که حرکات ناشی از زلزله در زیر زمین تقریباً نصف سطح زمین می‌باشد و لذا این فرضیه به ذهن می‌رسد که سازه‌های واقع در زیرزمین در برابر زلزله‌ها ایمن هستند.(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۱۴۸◄ فروریختن ستون‌های میانی یک ایستگاه مترو دای کای در شهر کوبه ژاپن

جابجایی در زیرسازی بخاطر ورود موادی از زیر بستر

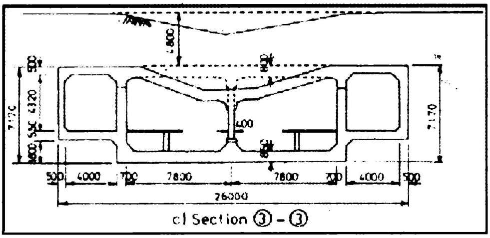
تونل ایناتوری که توسط گسل قطع شده بود، در تصویر نشان داده شده است. دیده می‌شود که روسازی تونل در قسمت پایین خراب شده است و همچنین، خاکی که از بیرون به داخل تونل با فشار وارد شده است، سبب جابجایی زیرسازی خط‌آهن به اندازه چندین سانتیمتر شده است. (زلزله ایزو-اُشیما-کینکای، ژاپن، ۱۹۷۸)

۱۴۹< جابجایی در زیرسازی بخاطر ورود موادی از زیر بستر

ورودی تونل آسیب دیده

چنین به نظر می‌رسد که میزان تنشهای فشاری در ابتدای ورودی تونل ایناتوری در جهت محور تقارن تونل بایستی فوق‌العاده زیاد و شدید بوده باشد. مشاهده می‌شود که ریلها در اثر پدیدهٔ کمانش به شدت خم شده‌اند.
(زلزله ایزو-اُشیما-کینکای، ژاپن، ۱۹۷۸)

۱۵۰< ورودی تونل آسیب دیده



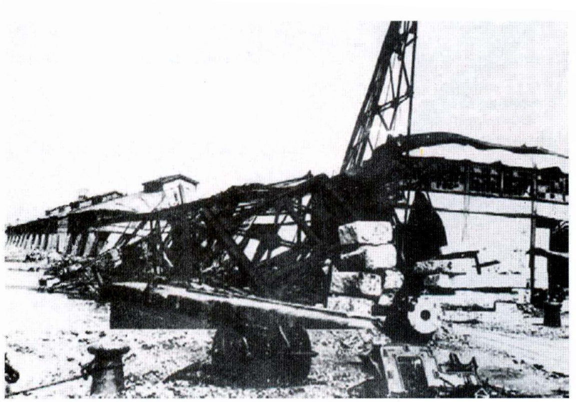
شکل ۲۱- نمایی از مقطع عرضی تونل

■ خسارات وارد به خاکریزها

هنگامی که یک سد خاکی می‌شکند، آب ذخیره شده در آن به بیرون جاری شده و باعث ایجاد سیلابی می‌شود که سبب بروز خسارات زیادی شده و زندگی بسیاری را به خطر می‌اندازد. بنابراین، هنگامی که یک سد خاکی ساخته می‌شود، طراحی آن باید متناسب با دانه‌بندی بکار رفته، مقاومت کافی در برابر زلزله را تأمین نماید. در رابطه با خاکریزهای رودخانه‌ها، نگرانی اندکی نسبت به طغیان آب در طول فصول بارندگی و هنگام زلزله وجود دارد. طراحی در برابر زلزله در مورد خاکریزها هنوز خیلی معمول نشده است. لذا، خاکریزها در برابر خسارتهای زلزله مستعد می‌باشند.

آسیب دیدگی ستونهای اسکلهٔ یوکوهاما

دراسکلهٔ یوکوهاما، در اثر زلزله یکی از پایه‌ها دچار آسیب دیدگی شد.
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)



۱۵۱◄ آسیب دیدگی ستونهای اسکلهٔ یوکوهاما

واژگونی یک لوکوموتیو بخار

در اثر تغییر شکل زیادی که در مسیر خط آهن پیش آمده بود، یک لوکوموتیو بخار از خط خارج و واژگون شد.
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۱۵۲◄ واژگونی یک لوکوموتیو بخار

پدید آمدن ترک در خاکریز خط‌آهن

به نظر می‌رسد که این خاکریز بر روی زمین نسبتاً نرمی ساخته شده باشد و دلیل آن وجود دریاچه‌ای است که درسمت راست تصویر مشاهده می‌شود. در طول این زلزله خاکریزها و زمین‌های نسبتاً نرم زیادی دچار آسیب‌دیدگی شدند. دراثر بروز این خسارت نسبت به تقویت مسیر شینکانسن (خط سریع‌السیر) در برابر زلزله اقداماتی انجام شد.

پس از این زلزله، بجای استفاده از پشته‌های خاکی، پلهای RC (بتن مسلح) در مسیر خطوط شینکانسن مورد استفاده قرار گرفتند.

(زلزله توکاچی ـ اکی، ژاپن، ۱۹۶۸)

۱۵۳< پدید آمدن ترک در خاکریز خط‌آهن

خاکریزها به آسانی خسارت می‌بینند!

یکی از آسیب‌هایی که مکرر برای خاکریزها بوجود می‌آید، مسأله نشست آنها در سازه‌هایی چون پلها می‌باشد. علت اینکه خاکریزها به آسانی دچار آسیب دیدگی می‌شوند این است که متراکم نمودن و کوبیدن خاک خاکریز در هنگام اجرا خیلی سخت و مشکل است. در نتیجه به هنگام زلزله خاکریز از محل خود خارج می‌گردد و سازه دچار تغییر شکل و خسارت می‌شود. این سانحه در مسیر خط‌آهن میناتو در جزیره شیموکیتا به‌وقوع پیوسته است. البته بروز خسارت‌هایی مانند آنچه که درعکس مشاهده می‌شود، خیلی نادر است.

(زلزله توکاچی ـ اکی، ژاپن، ۱۹۶۸)

۱۵۴< خاکریزها به آسانی خسارت می‌بینند!

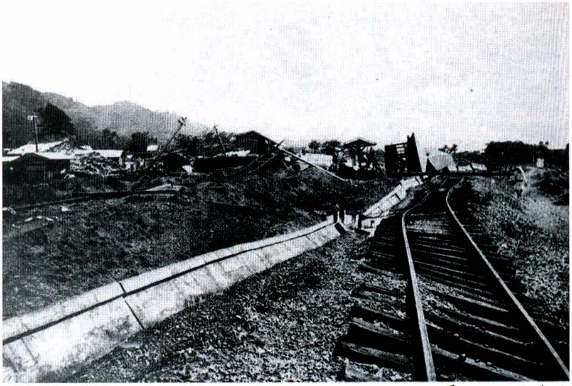
ویرانی خط‌آهن در اثر زمین لغزه

در «هاکونه» یک خط‌آهن در اثر لغزش زمین دچار آسیب‌دیدگی شدید شد. این سانحه‌ای است که در مسیر خط‌آهن هاکونه-توزان (کوهستان‌های هاکونه) به‌وقوع پیوسته است.
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۱۵۵◄ ویرانی خط‌آهن در اثر زمین لغزه

آسیب دیدگی سرتاسری در خاکریز خط‌آهن

خاکپشتهٔ خط‌آهن‌های بسیاری در اثر زلزلهٔ بزرگ کانتو ویران شدند.
(زلزلهٔ کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)



۱۵۶◄ آسیب دیدگی سرتاسری در خاکریز خط‌آهن

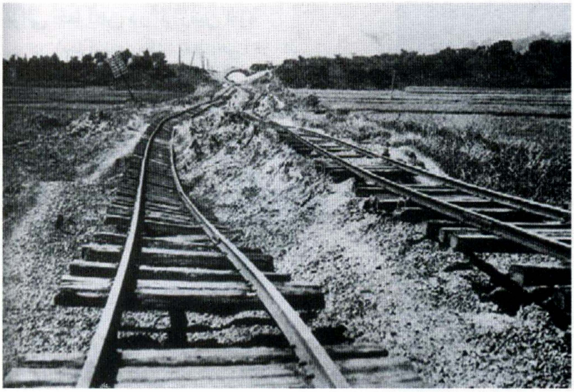
تغییر شکل و خرابی در خاک نرم مناطق پست

خاک‌های نرم در مناطق کم ارتفاع نزدیک به دریا در شهر یوکوها، دراثر زلزله عظیم کانتو به شدت دچار آسیب‌دیدگی شدند.
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۱۵۷◄ تغییر شکل و خرابی در خاک نرم مناطق پست

عبور مسیر خط‌آهن از یک مزرعه شالیکاری

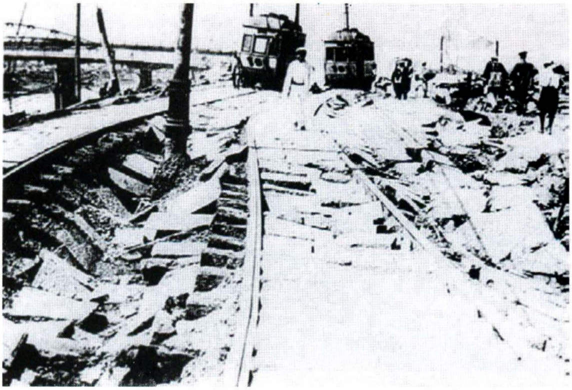
خاکپشتهٔ خط‌آهنی که از یک مزرعه شالیکاری عبور می‌کرد در اثر زلزله دچار آسیب دیدگی شد.
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)



۱۵۸◄ عبور مسیر خط‌آهن از یک مزرعه شالیکاری

آسیب‌دیدگی شدید به زمین‌های اطراف رودخانه

زمین‌های واقع در مجاورت یک رودخانه از رسوبات ته‌نشینی تشکیل شده بودند که توسط جریان رودخانه حمل و آورده شده بود. این باعث شد که خسارت وارد به زمین در اثر زلزله فوق‌العاده شدید باشد. (زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)



۱۵۹◄ آسیب‌دیدگی شدید به زمین‌های اطراف رودخانه

ویرانی خاکریز خط‌آهن در اثر بروز روانگرایی

در اثر پدیدهٔ روانگرایی خسارت شدیدی به خاکریز یک خط‌آهن که در امتداد ساحل واقع شده بود، وارد آمد.
(زلزله نیاگاتا، ژاپن، ۱۹٦٤)

۱٦۰◄ ویرانی خاکریز خط‌آهن در اثر بروز روانگرایی

ریزش پیش‌رونده در یک خاکریز

یک خاکریز در بزرگراه شماره ٤ فروریخته و به درون شیب کنار جاده لغزید. حجم زیادی از سنگ و خاک در یک مسیر افقی به طور ناگهانی فروریختند. علت ریزش خاکریز وقوع زلزله‌هایی بود که یکی پس از دیگری رخ دادند. این نمونه‌ای از خرابی‌های «پیش رونده» محسوب می‌شود.
(زلزله توکاچی-اُکی، ژاپن، ۱۹٦۸)

۱٦۱◄ ریزش پیش‌رونده در یک خاکریز

تفاوت خسارت وارد به یک خاکریز و یک ترانشه

دراثر زلزله آسیب‌دیدگی شدیدی به خاکریز یک بزرگراه وارد آمد. با دقت درشکل می‌بینیم که وضعیت قرارگیری درختان بر جای مانده به نحوی است که به خوبی نشان می‌دهد که بر مقطع یک ترانشه واقع هستند. مقطعی که به علت وقوع زلزله دچار آسیب دیدگی شدید شده است. این امرنشان دهنده این است که خاکریزهایی که از سنگ و خاک ساخته می‌شوند تا یک بزرگراه را از سطحی بالاتر از سطح زمین اطراف عبور دهند، نسبت به ترانشه‌ها از مقاومت کمتری برخوردار هستند.
(زلزله اُیتا ـ کن ـ چوبو، ژاپن، ۱۹۷۵)

۱٦۲◄تفاوت خسارت وارد به یک خاکریز و یک ترانشه

خاکریز ضعیف است.

این بزرگراه از درون یک منطقهٔ کوهستانی می‌گذرد و لذا درمسیر آن ترانشه‌ها و خاکریزهای زیادی وجود دارد. با وجود اینکه خاکریزها توسط بولدزر به‌خوبی فشرده و متراکم شده بودند، اما باز هم درجه تراکم در این مقطع به اندازهٔ زمین‌های معمولی نمی‌باشد. ترکهای بسیاری فقط در قسمت مربوط به خاکریز پدیدار شده است. همچنان که در عکس مشاهده می‌شود این قسمت در حال فروریختن می‌باشد.
(زلزله میاگی-کن-اُکی، ژاپن، ۱۹۷۸)

۱٦۳◄ خاکریز ضعیف است.

خسارت وارد به ساختمانها

انواع مختلفی از ساختمانها با مصالح ساختمانی متفاوتی وجود دارند. بنابراین مقاومت ساختمانها در برابر زمین لرزه‌ها متفاوت است. در این فصل، خسارات ناشی از زلزله به ساختمانهای چوبی، بنایی، بتن مسلح، ساختمانهای قاب فلزی و ... مورد بررسی قرار می گیرند.

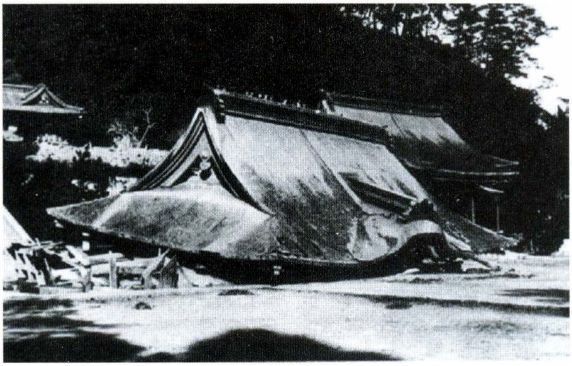
■خسارت وارد به خانه‌های چوبی

ساختمانهایی که در آنها چوب به عنوان عمده‌ترین مصالح (باربر) ساختمانی استفاده می‌شود، دارای مقاومت نسبی (خوبی) در برابر زلزله می‌باشند. این بدان سبب است که چوب دارای وزنی اندک و شکل پذیری می باشد که در نتیجه، شکستگی در آن به سختی صورت می‌پذیرد. بزرگترین مشکل در مورد چوب، ضعف آن در برابر آتش‌سوزی ، پوسیدگی و خوردگی (توسط حشرات) طی زمان طولانی استفاده می‌باشد.

ساختمانهای با وزن سنگین در قسمت فوقانی به راحتی فرومی‌ریزند.

بسیاری از زیارتگاه‌های شینتو و یا معابد بودایی که داری سقف‌های بزرگ و تحسین برانگیزی می‌باشند، با توجه به اینکه وزن زیادی از ساختمان به سقف‌ها اختصاص پیدا می کند، جزء ساختمانهای با وزن زیاد در قسمت فوقانی محسوب می‌شوند.

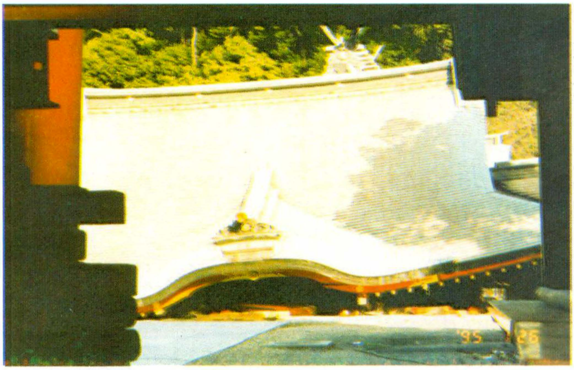
لذا در هنگام بروز زلزله، نظیر زلزلهٔ بزرگ کانتو، احتمال فروریختن ساختمانها زیاد می‌شود. همچنان که در این تصویر هم مشاهده می کنید، وزن زیاد سقف باعث ویرانی ساختمان شده است. درحالت کلی، نیروهای زلزله با یکدیگر ترکیب شده بر روی قسمتهای سنگین وزن سیستم سازه عمل می‌نمایند. این عکس مربوط به معبد تاراگوکا-هاشیمانکو در کامارا می‌باشد. (زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)



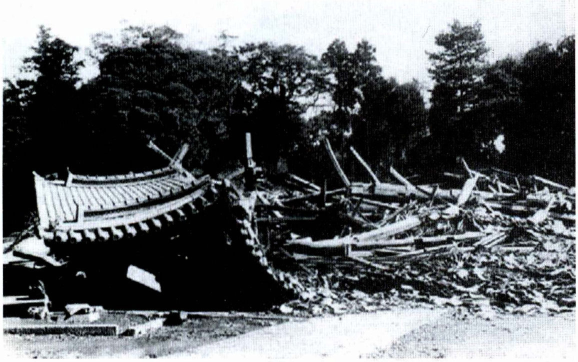
۱٦٤◁ ساختمانهای با وزن سنگین در قسمت فوقانی به راحتی فرومی‌ریزند

ساختمان‌های با سقف‌های مجلل در معرض خطرات ناشی از زلزله می‌باشند.

در معماری ژاپن همواره سعی بر استفاده از سقف‌های با ابهت و مجلل برای ساخت معابد و مکان‌های مذهبی بوده است که این امر موجب زیادشدن وزن قسمت فوقانی سازه می‌شود. در این تصویر مشاهده می‌نمایید که ساختمان معبد فروریخته است و قسمت فوقانی سازه سالم مانده و قسمت زیرین به کلی از بین رفته است.(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)



۱٦٥◁ ساختمان‌های با سقف‌های مجلل در معرض خطرات ناشی از زلزله می‌باشند



تنها سقف زیبا بود که ویران نشد.

پس از آنکه معابد ویران می‌شدند، عموماً سقف‌های آنها سالم بر جای می‌ماندند که دلیل این امر محکم ساخته شدن این قسمت ساختمانها بود.
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۱۶۶◁ تنها سقف زیبا بود که ویران نشد.

ویران شدن یک تالار کنسرت در پارک هیبیا

پس از ویران شدن تالار کنسرت در پارک هیبیا سقف آن بر جای ماند. مردمی که در اثر زلزله خانه‌های خود را از دست داده بودند از این سقف برای خشک کردن لباسهایشان استفاده می‌نمودند. این تصویر نمونه ای از خسارات ناشی از ساختمانهای با سقف سنگین می باشد.
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۱۶۷◁ ویران شدن یک تالار کنسرت در پارک هیبیا

انهدام طبقه اول

طبقه اول این ساختمان ۲ طبقهٔ چوبی در اثر زلزله فروریخت.
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۱۶۸◁ انهدام طبقه اول

۱۶۹◄ سفالها به آسانی فرو می‌ریزند.

سفالها به آسانی فرو می‌ریزند.

بیشتر سفالها از روی سقف‌ها فروریخته‌اند اما خود خانه‌ها عموماً سرپا باقی مانده‌اند.
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۱۷۰◄ سقف‌های کاهگل و گل اندود نیز جزء سقف‌های سنگین محسوب می‌شوند.

سقف‌های کاهگل و گل اندود نیز جزء سقف‌های سنگین محسوب می‌شوند.

از آنجایی که ساختمانهای با سقف کاهگل در اثر بارندگی به کلی خیس و تر می‌شوند، لذا همانند این شکل عموماً دچار فروریختگی می‌شوند چراکه قسمت فوقانی ساختمان سنگین است. امروزه از این نوع سقف‌ها دیگر در ژاپن به سختی یافت می‌شود.
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۱۷۱◄ نیاز به استفاده از «تختخواب محافظ در برابر زلزله»

نیاز به استفاده از «تختخواب محافظ در برابر زلزله»

طبقه اول ساختمان‌های این منطقه در اثر زلزله‌ای با شدت ۷ در مقیاس JMA (حدود ۱۰ الی ۱۱ MM)به شدت آسیب دید.

به دلیل اینکه در ژاپن معمولاً سرویس‌های بهداشتی و دستشویی‌ها در طبقه اول ساختمان قرار می‌گیرند، لذا عموماً افراد مسن که در طول شب نیاز به استفاده از سرویس بهداشتی دارند در این طبقات اسکان داده می‌شوند که این امر باعث مرگ حدود ۶٪ سالمندان در این منطقه شد. طراحی یک«تختخواب ایمن و محافظ در برابر زلزله» به نحوی که بتواند در برابر سقوط لوازم منزل مقاومت کند از ملزومات پیشگیری از این قبیل خطرات است.(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۱۷۲ طبقه دوم می‌لرزد، طبقه اول فرو می‌ریزد.

طبقه دوم می‌لرزد، طبقه اول فرو می‌ریزد.

در یک ساختمان چوبی دو طبقه که دارای شکل‌پذیری بالایی است، قسمتی که بیشتر دچار لرزش می‌شود طبقه دوم ساختمان است و قسمتی که عمدتاً فرو می‌ریزد، عموماً طبقه اول است. این خانه‌ای است که در اثر زلزله لوما-پرتیا در ایالت کالیفرنیا دچار آسیب‌دیدگی گشت. در واقع این خانه هم دقیقاً همانند خانه‌های ژاپنی که دیده شد، دچار فروریختگی شد. (زلزله لوما پرتیا، آمریکا، ۱۹۸۹)

۱۷۳ یک ساختمان ویران شده در میان برفها

یک ساختمان ویران شده در میان برفها

این امر بدیهی است که شکل و سیمای خسارتی که در اثر زلزله پیش می‌آید به منطقه‌ای که سانحه در آن رخ داده است، بستگی دارد. این نوع آسیب‌دیدگی به ندرت به وقوع می‌پیوندد. هنگامی که برف از سطح زمین تا لبه بام بالا می‌آید در این صورت فروریختن ساختمان به سختی صورت می‌پذیرد، حتی اگر سازه در اثر زلزله آسیب دیده باشد.

■ خسارات وارد به‌خانه‌های ساخته شده با مصالح بنایی

درحالت کلی، می توان گفت که ساختمانهای ساخته شده با مصالح بنایی به شدت در برابر زلزله‌ها آسیب‌پذیر هستند. بنا بر گزارشها، در واقع مسؤول بیش از ٪۷۰ قربانیان زلزله‌ها در جهان از جمله این قبیل ساختمانها می‌باشند.

ساختمانهای ساخته شده با آجر خشتی

آجرهای خشتی از مخلوطی از خاک و کاه ساخته می‌شوند که نقش کاه در این مخلوط نقش «مسلح کننده در مقابل کشش» است. پس از ساخت، به منظور پرداخت و عمل‌آوری، آنها را در برابر نور آفتاب قرار می‌دهند. این آجرها در حدود ۱۵ الی ۲۰ سانتیمتر ضخامت دارند، ضخامتی بیش از آجرهای پخته که در کوره ها تولید می‌شوند.

یک آجر بزرگ دارای طولی در حدود ۵۰ سانتیمتر می‌باشد. در ساخت یک خانه چیدن آجرهای خشتی به همان نحوی است که آجرهای پخته چیده می‌شوند. از خمیر خاک و گل به منظور بندکشی و پیوند دادن آجرها به یکدیگر استفاده می‌شود. برای ساخت پشت‌بام‌ها و کف طبقات، صفحات چوبی نازکی در طول فضای خالی بین دیوارها قرار گرفته و آجرهای خشتی بر روی آنها قرار می‌گیرند. این چوب‌هایی که جهت سقف‌ها و طبقات بکار برده می‌شوند، خیلی خطرناکند. در موارد متعددی به هنگام بروز زلزله‌ها این پانلهای چوبی از روی دیوارها سقوط کرده‌اند، و سقف یا طبقهٔ دوم ساختمان بر روی زمین فروریخته است و تنها دیوارها برجای مانده‌اند. به دلیل اینکه آجرهای خشتی خیلی سنگین هستند، لذا ساکنین یک ساختمان ممکن است دچار آسیب‌دیدگی شده و سقوط آنها موجب جراحات جدی و یا مرگ افراد شود. بسیاری از مواقع بدترین سوانح ناشی از زلزله شامل همین سازه‌های خشتی می‌باشد.

خانه‌های ساخته شده با خشت و کاهگل با هزینه بسیار پایینی ساخته می‌شوند و افراد غیر حرفه‌ای هم می‌توانند نسبت به ساخت آنها اقدام کنند. درشیلی گفته می‌شود که هزینه ساخت آنها ۱/۸ (یک هشتم) ساخت خانه‌های چوبی می‌باشد. خانه‌های خشتی به شکل گسترده‌ای در کشورهای در حال توسعه که در مناطق خشک قرار دارند، (مانند خاور میانه و یا بخش‌هایی از جنوب و مرکز آمریکا) مورد استفاده می‌باشند که دلیل آن همان هزینه بسیار اندک ساخت آنهاست.

همانطور که گفته شد خانه‌های خشتی دارای مقاومت اندکی در برابر زلزله می‌باشند؛ اما مقاومت آنها ممکن است با تغییراتی بهبود یابد. برای مثال ساخت آنها به شکل سازه‌های قوس‌دار باعث می‌شود مقاومت این سازه‌ها (که مقاومت کششی بسیار اندکی دارند) در برابر زلزله افزایش یابد. این امر می‌تواند برای تمام خانه‌های ساخته شده با مصالح بنایی هم بکار گرفته شود. به همین دلیل است که سازه‌های سنگی قوس‌دار از مدتها قبل و به شکل رایج و معمولی، مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. امید است که تحقیقات تازه برای بهبود بخشیدن به مقاومت سازه‌های خشتی در برابر زلزله‌ها در آینده توسعه یابد تا بدین شکل از تعداد قربانیانی که در اثر سوانح ناشی از فروریختن ساختمانهای خشتی از بین می‌روند، به شکل چشمگیری کاسته شود.

خانه‌های ساخته شده با آجر پخته

آجرهای پخته خیلی از آجرهای خشتی قوی‌تر هستند، اما نسبت به بتن مسلح ضعیف‌ترند و دلیل امر این است که نمی‌توان آجر را توسط میلگردهای تقویتی مسلح نمود. شکل کلی و معمول سازه‌های ساخته شده با آجر پخته چنین است که دیوارها و کف‌هایی که از آجر ساخته می‌شوند، به قاب‌های بتن مسلح متصل می‌شوند. اما متأسفانه در موارد متعددی آرماتورهای تقویتی جهت اتصال دیوار آجری به قاب بتنی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند.

مواردی مشاهده شده که در آنها دیوار از ستون جدا شده و به بیرون قاب فروریخته است، و قاب تنها به شکل سالم باقیمانده است. در سازه‌های آجری، مقاومتی که توسط سازه‌های قوسی تأمین می‌گردد هم قابل تأمل است.

خانه‌های ساخته شده با مصالح سنگی و سایر موارد مشابه

انواع دیگری از سازه‌ها همانند ساختمانهای ساخته شده با قلوه سنگ که از ملات برای پیوند آنها استفاده می‌شود، در ایتالیا معمول می‌باشند. ساختمانهای قدیمی که بیش از هزار سال قدمت داشته و هنوز از آنها نگهداری می‌شود، موجودند.

سازه های سنگی به اندازهٔ سازه‌های بتن مسلح در برابر زلزله مقاومت ندارند و دلیل آن مشکل بودن مسلح ساختن آنهاست. در هر صورت، از آنجایی که سنگ از آجر بنایی قوی‌تر است و خانه‌های ساخته شده با مصالح سنگی از مصالح یکنواختی ساخته می‌شوند که توسط اشکال گوناگونی از سنگ به یکدیگر متصل می‌شوند، لذا به نظر می‌رسد که خانه‌های ساخته شده با مصالح سنگی از سازه‌های آجری قوی‌تر باشند.

لزوم استفاده از «میزهای مقاوم در برابر زلزله»

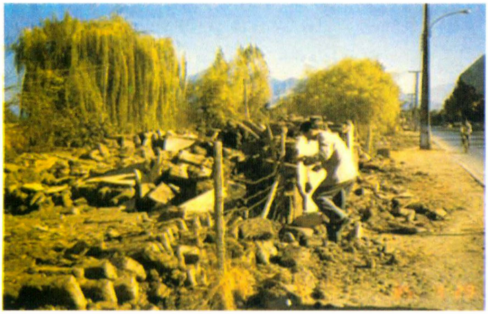
این تصویری است از قائن، منطقه‌ای در شرق ایران. این منطقه‌ای است که در آن ده‌ها منزل ساخته شده با استفاده از آجرهای خشتی وجود داشت. زلزله‌ای که مرکز آن درست در زیر این منطقه قرار داشت تمامی خانه‌ها را با خاک یکسان نمود. همچنان که گفته شد، خانه‌های ساخته شده با آجرهای خشتی دارای مقاومت بسیار کمی در برابر زلزله‌ها هستند.

بدلیل آنکه معمولاً در مواقع بروز زلزله مردم با پناه‌گرفتن در زیر میزها می‌خواهند جان خود را حفظ کنند. لذا تولید «میزهای مقاوم در برابر زلزله» در مناطق زلزله‌خیز توصیه می‌شود. (زلزله قائن، ایران، ۱۹۹۷)

۱۷۴◄ لزوم استفاده از «میزهای مقاوم در برابر زلزله»

ویرانی کامل یک سازه خشتی در اثر زلزله

خانه‌ای که از آجرهای خشتی ساخته شده بود به طور کامل ویران گشت. حتی شکل کلی آن دیگر قابل تصور نیست. (زلزله شیلی، شیلی، ۱۹۸۵)



۱۷۵◄ ویرانی کامل یک سازه خشتی در اثر زلزله

آجرهای خشتی فروریخته

اندازه آجرکاهگلی به میزان قابل توجهی بزرگ است. بعضی از انواع بزرگتر آن در حدود ۵۰ سانتیمتر طول دارد. راه رفتن در اطراف این محل به هنگامی که آنها در حال ریختن هستند، بسیار خطر ناک است. این تنها جمله‌ای است که می‌توان درباره میزان خطر آنها گفت و احتیاج به توضیح بیشتری نیست.
(زلزله شیلی، شیلی، ۱۹۸۵)

۱۷۶◄ آجرهای خشتی فروریخته

ساخت آجرهای کاهگلی؛ کاری سهل و آسان

ساخت آجر کاهگلی برای یک فرد عادی و غیر متخصص کاری آسان است. به همین دلیل است که این نوع از مصالح خارج از استفاده نمی‌شوند. مراحلی که شما می‌توانید یک آجر کاهگلی بسازید بدین شرح است: افزودن مقداری تقویت کننده مانند علف هرز و یا ریشهٔ درختان به خاک موجود در گوشهٔ یک زمین پست، مخلوط کردن مقدار مناسبی آب، (مخلوط خاک و آب قبل از بیل در جلوی عکس قابل مشاهده است.) و سپس قالب. (به قالبی که مرد در دست گرفته است توجه کنید.) دو هفته زمان برای خشک شدن آجر در برابر آفتاب وقت لازم است. این تمام چیزی است که شما باید انجام دهید. نهایتاً به مکانی احتیاج است که در آنجا بارندگی نشود و آجرها از رطوبت مصون بمانند. (زلزله شیلی، شیلی، ۱۹۸۵)

۱۷۷◁ ساخت آجرهای کاهگلی؛ کاری سهل و آسان

خانه‌های کاهگلی در برابر زلزله بسیار ضعیف‌اند.

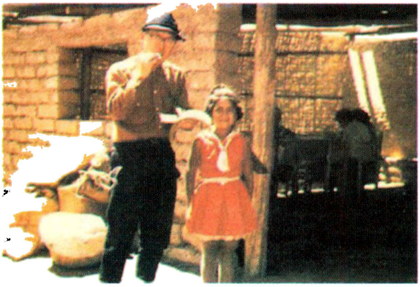
در پشت زمینهٔ عکس یک کوه را شاهد هستید. یک ساختمان چوبی دقیقاً در پای کوه واقع شده است، و در پیش زمینهٔ عکس خرابی‌های خانه‌های کاهگلی را که به طور کلی ویران شده‌اند، شاهد هستید. از این وضعیت دو نتیجه گرفته می‌شود: خانه‌های کاهگلی و خشتی در مقایسه با خانه‌های چوبی از مقاومت کمتری در برابر زلزله برخوردارند؛ خاکهای آبرفتی کنارهٔ کوهها به شدت به لرزش درمی‌آیند. (پدیدهٔ پلاژ) (زلزله شیلی، شیلی، ۱۹۸۵)

۱۷۸◁ خانه‌های کاهگلی خیلی در برابر زلزله ضعیف‌اند.

خانه‌های بومیان منطقه سالم بر جای ماند.

به خانه‌های ساکنین بومی منطقه که در یک منطقه کوهستانی و در ۲۰ کیلومتری مرکز زلزله قرار داشتند، هیچ گونه خسارت جدی وارد نیامد و این در حالی بود که خانه‌های ساخته شده با آجرهای خشتی به طور جدی دچار ویرانی شدند. علت این که خانه‌ها مقاوم‌تر و محکم‌تر ساخته شده بودند شاید این باشد که از گل با استفاده از ماله در ساخت دیوارها استفاده شده بود و این باعث گردید که دیوار به صورت یک سطح یکپارچه عمل نماید؛ شبیه به حالتی که در دیوارهای گلی ژاپن پیش می‌آید.(زلزله اکه ادر، اکه ادر، ۱۹۸۷)

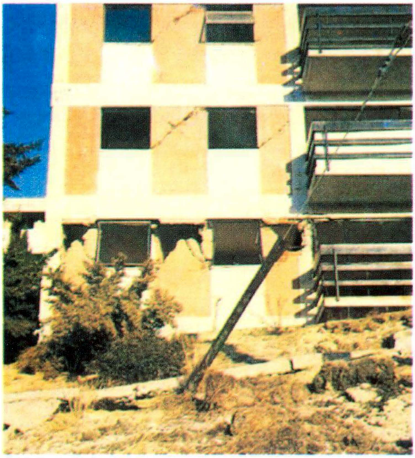
۱۷۹◁ خانه‌های بومیان منطقه سالم بر جای ماند.



۱۸۰ نمونه‌ای از یک خانه سالم با آجرهای خشتی

نمونه‌ای از یک خانه سالم با آجرهای خشتی

یک خانهٔ ساخته شده با آجرهای خشتی را در حدود ۲۰۰ کیلومتری مرکز زلزله شاهد هستید. این نمونه‌ای است از یک خانهٔ خشتی قبل از فروریختن.
(زلزله پرو، پرو، ۱۹۷۰)



۱۸۱ طبقات پایین به شدت دچار ترکهای برشی شده‌اند.

طبقات پایین به شدت دچار ترکهای برشی شده‌اند.

این خسارتی است که به یک خانهٔ آپارتمانی واقع بر لبهٔ یک پرتگاه وارد آمده است. ترکهای بسیاری در سطح زمین هم ایجاد شده است. همچنین ترکهای ضربدری شکلی که در اثر برش ایجاد شده‌اند، به راحتی در سطح دیوارهای طبقات پایین مشاهده می‌شوند.
(زلزله شیلی، شیلی، ۱۹۸۵)

۱۸۲ خسارت به ستونهای باریک و دیوارهای نازک

خسارت به ستونهای باریک و دیوارهای نازک

این خسارتی است که به یک دیوار آجری در طبقهٔ اول یک ساختمان در شهر لازارو-کاردناس وارد آمده است. ستونهای بتن مسطح بسیار باریک ساخته شده‌اند به گونه‌ای که به سختی قابل رویت هستند.
(زلزلهٔ میشیگان، مکزیک، ۱۹۸۵)

حتی یک قوس ساخته شده با مصالح بنایی هم دارای مقاومت است.

خانه‌های بسیاری وجود دارند که با سنگ ساخته می‌شوند. مقاومت قوسها توجه زیادی را به خود جلب نموده است.
(زلزله جنوب ایتالیا، ایتالیا، ۱۹۸۰)

۱۸۳ حتی یک قوس ساخته شده با مصالح بنایی هم دارای مقاومت است.

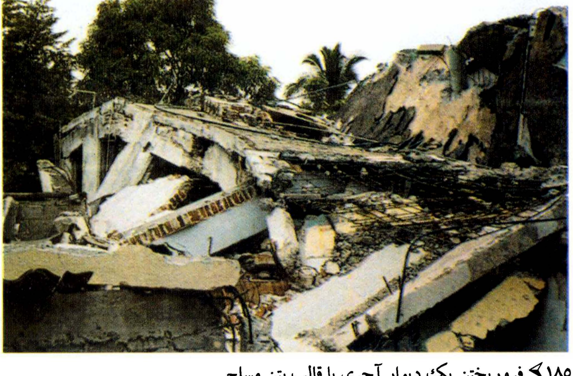
خانه فرو ریخت، اما سقف بر جای ماند.

همچنان که در شکلهای مربوط به خانه‌های قدیمی و چوبی ژاپنی هم دیده شد، در اثر فرو ریختن قسمت پائینی این ساختمان تنها سقف آن سالم مانده است. این قبیل فروریختگی ساختمان در کشورهای مختلف روی می‌دهد.
(زلزله جنوب ایتالیا، ایتالیا، ۱۹۸۰)

۱۸٤ خانه فرو ریخت، اما سقف بر جای ماند.

فروریختن یک دیوار آجری با قالب بتن مسلح

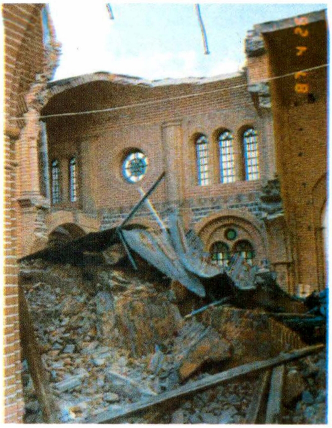
فرو ریختن ستونهای بتن مسلح در شهر لاسارو-کردناس در نزدیکی مرکز زلزله نشان دهندهٔ آن است که خانه‌ها محکم ساخته نشده بودند .
(زلزله میشیگان، مکزیک، ۱۹۸۵)



۱۸۵ فروریختن یک دیوار آجری با قالب بتن مسلح

فرو ریختن سقف یک گنبد

کلیسایی که دارای سقف گنبدی شکل آجری بود فرو ریخت. درحالت کلی، قوسها و گنبدها در برابر زلزله مقاومند. در واقع مشاهده این نوع فروریختگی خیلی به ندرت اتفاق می‌افتد.
(زلزله اکوادر، اکوادر، ۱۹۸۷)



۱۸۶ فرو ریختن سقف یک گنبد

ستونهای یک ساختمان پنج طبقه که خیلی لاغر طراحی شده بودند.

طبقهٔ اول یک ساختمان آپارتمانی در دست ساخت از ویرانی ناشی از زلزله جان سالم به در برد. شما می‌توانید ببینیدکه چقدر قطر ستونها را کم انتخاب کرده بودند که این امر در مقایسه با الوارهای چوبی که برای تقویت استفاده شده‌اند، قابل تشخیص است.
(زلزله فریلی، ایتالیا، ۱۹۷۶)

۱۸۷ ستونهای یک ساختمان پنج طبقه که خیلی لاغر طراحی شده بودند.

راهی برای حفظ جان

یک تختخواب در بین طبقات ساختمان له شده است. با دیدن این منظره ناگهان ایده‌ای برای حفظ جان در هنگام وقوع حادثه به ذهن می‌رسد که اگر کسی در زیر این تخت فلزی پنهان می‌شد و خود را بر روی زمین می‌چسبانید، شاید او از آسیب دور می‌ماند، هرچند که امکان آسیب دیدگی پاهایش وجود داشت. اما اگر سر در طرف دیگر تخت قرار می‌گرفت چه اتفاقی می‌افتاد؟......
(زلزله جنوب ایتالیا، ایتالیا، ۱۹۸۰)

۱۸۸ راهی برای حفظ جان

فرو ریختن ساختمان به دلیل شکستگی ستونها

سوپرمارکتی که از آجر ساخته شده بود، در اثر شکستن ستونهایش فروریخت.
(زلزله اکوادر، اکوادر، ۱۹۸۷)

۱۸۹ ◁ فرو ریختن ساختمان به دلیل شکستگی ستونها

ساختمان ساخته شده با مصالح بنایی و با قدمتی ۱۰۰۰ ساله فروریخت.

در ایتالیا ساختمان‌های قدیمی بسیاری وجود دارند که هنوز هم سالم بر جای مانده‌اند. خانه‌ای که با قدمت ۱۰۰۰ ساله یا بیشتر بر جای مانده بود، توانایی مقاومت در برابر این زلزله را نداشته و فرو ریخت. خانه‌های واقع در سمت راست تصویر، که از لحاظ فرم ظاهری خیلی هم شبیه خانه‌های واقع در سمت چپ هستند در اثر وقوع زلزله دچار آسیب‌دیدگی نشدند. اینها هم ممکن است که از حالا به بعد به مدت صدها سال عمر کنند.
(زلزله فریلی، ایتالیا، ۱۹۷۶)

۱۹۰ ◁ ساختمان ساخته شده با مصالح بنایی و با قدمتی ۱۰۰۰ ساله فروریخت.

میزان مقاومت یک خانه مصالح بنایی براساس میزان مقاومت مصالح «اتصالات» آن تعیین می‌شود.

در هندوستان بخش مرکزی Deccon Plateau منطقه‌ای است که در آن به ندرت زلزله رخ می‌دهد. از آنجایی که در ساخت خانه‌های سنگی از گل به عنوان ملات استفاده می‌شود، لذا مقاومت این قبیل خانه‌ها در برابر زلزله اندک است. این امر باعث شد که در طول این زلزله با درجه بزرگی ناچیز ۶/۳، بیش از ۷۶۰۰ نفر از ساکنان این منطقه قربانی شوند.
(زلزله لاتور، هند، ۱۹۹۳)

۱۹۱ ◁ میزان مقاومت یک خانه مصالح بنایی براساس میزان مقاومت مصالح «اتصالات» آن تعیین می‌شود.

خانه‌های ساخته شده با مصالح بنایی، مقاومت کمی در برابر زلزله دارند.

همچنان که گفته شد خانه‌های ساخته شده با مصالح بنایی از ایمنی مناسبی در برابر زلزله برخوردار نیستند که این امر باعث بروز تلفات و صدمات زیادی در اثر این حادثه شد و در این منطقه افراد زیادی مجروح شدند.
(زلزله جنوب ایتالیا، ایتالیا، ۱۹۸۰)

۱۹۲< خانه‌های ساخته شده با مصالح بنایی، مقاومت کمی در برابر زلزله دارند.

ببینید! قوسها واقعاً مقاومند.

با اینکه تمامی این ساختمان ساخته شده با مصالح بنایی به شدت ویران شده است، اما قوس ساخته شده در آن با مقاومت بر جای مانده است.
(زلزله جنوب ایتالیا، ایتالیا، ۱۹۸۰)

۱۹۳< ببینید! قوسها واقعاً مقاومند.

ظاهراً گنبدها از قوسها ضعیف‌ترند.

این خسارتی است که به سقف گنبدی شکل یک کلیسا که از سنگ ساخته شده بود، وارد آمده است. با قضاوت نسبت به بقایای زلزله‌ها، می‌توان به این نتیجه رسید که مقاومت گنبدها در برابر زلزله از مقاومت قوسها کمتر می‌باشد.
(زلزله فریلی، ایتالیا، ۱۹۷۶)

۱۹۴< ظاهرا گنبدها از قوسها ضعیف‌ترند.

یک آبراه ساخته شده با مصالح بنایی در رُم

این آبراه که در حومهٔ شهر رم واقع است، در اثر زلزله‌های متعدد دچار خسارات جدی شده است. دیده می‌شود که قوسها فوق‌العاده در برابر زلزله مقاومند.

۱۹۵◄ یک آبراه ساخته شده با مصالح بنایی در رُم

خراب شدن «برج فانوس دریایی»، ساخته شده با مصالح بنایی

این برج فانوس دریایی، که در اثر زلزله ایزو ـ هانتو ـ اُکی (در جزیره ایزو) دچار خسارت شده است، در محوطهٔ فانوس دریایی ایروزاکی واقع شده است و هنوز هم نسبت به تعمیر آن اقدامی صورت نگرفته است. این برج دیده‌بانی که در اثر زلزله از جای خود کنده شده است، نمونه‌ای از یک ساختمان مصالح سنگی می‌باشد.

(ایزو هانتو اکی ، ژاپن، ۱۹۷٤)

۱۹۶◄ خراب شدن «برج فانوس دریایی»، ساخته شده با مصالح بنایی

خطر ناشی از دیواری با بلوک‌های بتنی

یک دیوار با بلوکهای بتنی در اثر ضربهٔ ناشی از شتاب زلزله فرو ریخت. زلزله میاگی‌کن-اکی (در استان میاگی) باعث بروز سوانح بسیاری برای افراد، چه پیر و چه جوان شد که عامل بسیاری از آنها ریزش «دیوارهای با بلوکهای بتنی» بودند. این امر توجه بسیاری از مردم را برانگیخت. لذا پس از آن نسبت به جایگزینی دیوارهای بلوکی با حصارهای نرده‌ای با ترغیب بیشتری اقدام شد. امروزه دیگر استفاده از دیوارهای با بلوک بتنی به‌منظور حصار بندی، روبه کاهش می‌باشد.(زلزله میاگی کن اکی- ژاپن-

۱۹۷◄ خطر ناشی از دیواری با بلوک‌های بتنی

■ خسارت وارد به سازه‌های بتن آرمه

ساختمان‌های ساخته شده با اسکلت بتن مسلح دارای مقاومت بالایی در برابر زلزله می‌باشند. تاکنون در ژاپن، موارد نادری از خسارت به ساختمان‌های بتن آرمه مشاهده شده بود، لیکن در زلزله سال ۱۹۹۵ کوبه تعداد زیادی از این ساختمانها دچار شکست های طبقه اول،دوم یا طبقات میانی گردیدند.

نیروی برشی و سایر نیروهایی که به طبقه اول اعمال می‌گردد بر تمامی طبقات بالایی ساختمان هم اثر می‌گذارد. در ساختن هتلها به منظور تأمین فضای باز لازم برای محوطهٔ لابی و... از تعداد ستونها و دیوارهای کافی استفاده نمی‌شود. همچنین در سوپرمارکت‌ها باید به منظور عرضه اجناس، فضای عریض و قابل توجهی به پنجره‌های شیشه‌ای اختصاص یابد. این موارد باعث کاهش مقاومت در ساختمانهایی از این دست می‌شود.

درکشورهای دیگر غیراز ژاپن، در طراحی ساختمانها، نیروی زلزله در حدودنصف تا یک چهارم نیرویی است که در ژاپن تخمین زده می‌شود. نتیجتاً، فروریختن یک ساختمان در خارج سریعتر از فروریختن نمونه مشابه آن در ژاپن روی می‌دهد. ضربهٔ ناشی از شکستن طبقهٔ اول بسیار قوی است به نحوی که طبقات دیگر هم در توالی آن شروع به شکستن می‌کنند. این نحوهٔ فروریختن که به فروریختن کیکی (Pancake Collapse) معروف است، بسیار به وقوع می‌پیوندد. همچنین، درادامه باید به این نکته هم اشاره نمود که غالباً ساختمانهایی که در گوشهٔ خیابانها واقع می‌گردند، دچار فروریختگی بیشتر می‌شوند. یک دلیل احتمالی که می توان بر این امر تصور کرد، این است که ساختمانهای مجاور یکدیگر با یکدیگر برخورد می‌کنند و تا حدودی در برابر لرزشها برای یکدیگر ایجاد یکپارچگی می‌نمایند و در واقع به‌هم تکیه می‌کنند. در حالی که ساختمانهای واقع در گوشه به جز از یک طرف به جایی متکی نیستند و به تنهایی و آزادانه مرتعش می‌شود و لذا سریعتر دچار فروریختگی می‌شوند.

۱۹۸< فرو ریختن طبقهٔ اول یک هتل

فرو ریختن طبقهٔ اول یک هتل

در اثر زلزله طبقه اول یک هتل«L» شکل فرو ریخت.عموماً هتلها به فضای باز و گسترده‌ای در طبقه اول احتیاج دارند، که ناچار برای تأمین چنین فضایی باید از ستونها و دیوارهای کمی استفاده کرد. در حالیکه بیشتر نیروهای ناشی از زلزله بر طبقهٔ اول اعمال می‌شود که برای بروز و تمرکز خسارت جدی، خیلی مستعدد می‌باشد. (زلزله اُیتا-کن-چوبو، ژاپن، ۱۹۷۵)

۱۹۹< ورودی هتل تصویر قبل

ورودی هتل تصویر قبل

این نمای نزدیکی از ورودی هتل«L» شکل می‌باشد. نحوه‌ای که ستونهای بتنی دچار فروریختگی شده‌اند، بیانگر این است که قطعاً ترکهای بسیار در ستونها ایجاد شده بوده است، در نتیجه بتن سطح بیرونی کنده شده و تنها آرماتوربندی آن بر جای مانده است. لذا به نظر می‌رسد که فروریختگی بعداً و در اثر وزن طبقات بالایی رخ داده باشد. فردی که ا زطبقهٔ اول بازدید کرده بود، گفته است که : فروریختگی به شکل همزمان رخ نداده است، بلکه به آرامی به وقوع پیوسته است.
(زلزله اُیتا ـ کن ـ چوبو، ژاپن، ۱۹۷۵)

خرابی ساختمان«H» شکل دانشگاهی در هاکایدو

این عکس نحوهٔ خرابی ساختمان«H» شکل یک دانشگاه را نشان می‌دهد. همچنان که گفته شد و انتظار می‌رفت تنها طبقهٔ اول ساختمان به سختی آسیب دیده است. معمولاً ساختمانها در ژاپن آنچنان آسیب نمی‌بینند که به کلی ویران شده و بر زمین بریزند و حتی اگر آسیب دیدگی به وقوع پیوندد، عمدتاً طبقهٔ اول است که دچار خرابی و ویرانی می‌شود. با دقت در تصویر مشاهده می‌شود که هر طبقه، دیواری به اندازه تقریباً ۱ متر در زیر پنجره دارد. در واقع خرابی در بالای پنجره‌ها کاملاً متوقف شده است و نتیجتاً سقف در بالای پنجره‌ها قرار گرفته است و در درون ساختمان به ندرت میزهایی بودند که در زیرسقف شکسته شده باشند.

تنها معدودی از افراد در ساختمان مجروح شدند که علت آن جراحات ناشی از عبور روی شیشه‌های پنجره‌ها بود، اما صدمات حاد جانی به وقوع نپیوست.

(زلزله توکاچی-اکی، ژاپن، ۱۹۶۸)

۲۰۰> خرابی ساختمان «H» شکل دانشگاهی در هاکایدو

نمای نزدیکی از ساختمان دانشگاه

با نزدیک شدن به ساختمان H شکل دانشگاه به وضوح می‌بینید که در اثر زلزله شدید توکاچی تنها خساراتی به طبقه اول و دوم ساختمان وارد آمده است. این زلزله دارای بزرگی ۷/۹ بوده است.

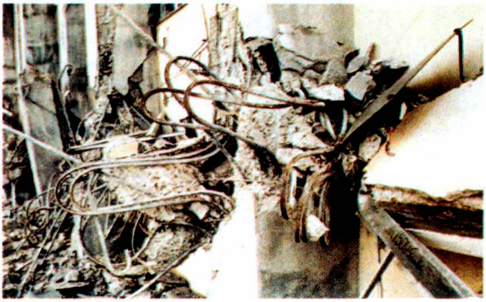
(زلزله توکاچی- اکی، ژاپن، ۱۹۶۸)

۲۰۱> نمای نزدیکی از ساختمان دانشگاه

نمای نزدیکتری از ساختمان

مشاهده می‌شود که چگونه با توسعهٔ ترکها در ستون، بتن پوسته از ستونها کنده شده و قطعه قطعه شده است (در اصطلاح پکیدگی بتن رخ داده است)؛ در نتیجهٔ از ستونها، تنها آرماتوربندی برجای مانده که آن هم بعداً در اثر بارگذاری ناشی از طبقات بالایی دچار گسیختگی شده است.

(زلزله توکاچی- اکی، ژاپن، ۱۹۶۸)



۲۰۲> نمای نزدیکتری از ساختمان

هیچ ساختمانی در امان نماند

این منطقه‌ای است که در اثر زلزله کوبه به شدت دچار آسیب‌دیدگی شد تقریبا تمامی ساختمانها به نحوی آسیب دیدند و از آسیب مختصر تا کلی در امان نماندند.

(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۲۰۳◄ هیچ ساختمانی در امان نماند

عدم تلفات جانی زیاد در اثر فروریختگی‌های اخیر ساختمانها در ژاپن

ساختمانهای مهندسی ساز ژاپنی دارای مقاومت نسبتا بالایی در برابر زلزله‌ها می‌باشند، به نحوی که در اثر زلزله به ندرت دچار فروریختگی می‌شوند و در ۳۰ سال گذشته حتی اگر فروریختگی رخ داده است، منجر به تلفات زیادی نشده است. می توان گفت در صورتی که در هنگام زلزله خود را در زیر یک میز پنهان کنید به ندرت احتمال آسیب دیدگی برای شما وجود خواهدداشت.

این خسارتی است که در اروشی-چو در شهر سندای رخ داده است.

(زلزله میاگی-کن-اکی، ژاپن، ۱۹۷۸)

۲۰۴◄ عدم تلفات جانی زیاد در اثر فروریختگی‌های اخیر ساختمانها در ژاپن

خسارت به ساختمان واقع بر خاک نرم

این خسارتی است که به طبقهٔ اول یک ساختمان بتن‌آرمه ساخته شده بر روی خاک نرم در شهر سندای به وقوع پیوسته است. هنگامی که زلزله رخ داد، در حدود ۲۰ نفر کارمند در این ساختمان مشغول به کار بودند و همگی سالم ماندند؛ حتی یکی از آنها هم صدمه ندید و علت این بود که همگی خود را در زیر میز پنهان نموده بودند.

(زلزله میاگی ـ کن ـ اکی، ژاپن ۱۹۷۸)

۲۰۵◄ خسارت به ساختمان واقع بر خاک نرم

۲۰۶◁ ساختمانهای ژاپنی به حالت فروریختگی کیکی دچار خرابی نمی‌شوند.

ساختمانهای ژاپنی به حالت فروریختگی کیکی دچار خرابی نمی‌شوند.

در حالت کلی، در صورتی که در اثر زلزله ساختمان مجبور به ریختن هم باشد، خرابی ساختمانهای ژاپنی تنها به خرابی در طبقهٔ اول دوم یا یکی از طبقات میانی ساختمان محدود می‌شود و طبقات دیگر سالم می‌مانند. در صورت پنهان ساختن خود در زیر میز و ... احتمال آسیب دیدگی برای شما به ندرت وجود دارد، چون که میزها به راحتی بر زمین پهن نمی‌شوند (نمی‌شکنند).

(زلزله میاگی ـ کن ـ اکی، ژاپن، ۱۹۷۸)

شکستگی موضعی بتن در یک طبقهٔ ضعیف میانی

هنگامی که یک ساختمان دارای یک طبقهٔ میانی ضعیف باشد، شکستگی بتن در طبقه رخ می‌دهد. این عکس تصویر خسارتی است که در زلزله ارزینکان در ترکیه به وقوع پیوسته است.

(زلزله ارزینکان، ترکیه، ۱۹۹۲)

۲۰۷◁ شکستگی موضعی بتن در یک طبقهٔ ضعیف میانی

۲۰۸◁ آسیب دیدگی در طبقهٔ فوقانی ساختمان

آسیب دیدگی در طبقهٔ فوقانی ساختمان

در یک ساختمان بتن‌آرمهٔ ژاپنی، تنها طبقهٔ اول است که در معرض فروریختن است و احتمال آسیب دیدگی برایش وجود دارد. موارد خیلی نادری پیش می‌آید که طبقهٔ فوقانی ساختمان این چنین به شدت دچار آسیب دیدگی شود. در تجزیه و تحلیل علت این اتفاق می‌توان گفت که حادثه دقیقاً شبیه «حرکت شلاقی» است که در یک تصادف اتومبیل برای گردن شخص عقب ماشین اتفاق می‌افتد. در واقع حرکت شلاقی باعث ویرانی طبقه فوقانی در اثر زلزله می‌شود.

(زلزله توکاچی ـ اکی، ژاپن، ۱۹۶۸)

۲۰۹< واژگونی سازه‌ای که دارای قسمت فوقانی سنگین بود.

واژگونی سازه‌ای که دارای قسمت فوقانی سنگین بود.

به وضوح مشاهده می‌شود که قسمت فوقانی سازه دارای وزن زیادی نسبت به پائین آن می‌باشد. عملکرد نیروهای زلزله بیشتر بر روی قسمت سنگین سازه متمرکز می‌گردد. نتیجتاً، این امر باعث کاهش مقاومت سازه در برابر زلزله می‌شود. همچنان که در فصلهای گذشته اشاره شد، خانه‌های چوبی قدیمی مخصوصاً معابد و زیارتگاههای شینتو دارای قسمت فوقانی سنگینی بودند و لذا در زلزله‌ها به سختی آسیب می‌دیدند. گفته می‌شود که افزایش چشمگیری در استفاده از ورقهای فلزی برای پوشاندن سقف خانه‌های چوبی ایجاد شده است و همچنین در تعداد خانه‌های فرو ریخته در اثر زلزله بعد از جنگ جهانی دوم کاهش دیده می‌شود. تصویری که مشاهده می‌کنید خسارتی است که به ورودی یک عوارضی در بزرگراه یامانامی وارد آمده است.

(زلزله ایتا-کن-چوبو، ژاپن، ۱۹۷۵)

نمای نزدیک از پایهٔ سازهٔ ورودی عوارضی

پایهٔ ورودی عوارضی بدین شکل دچار آسیب دیدگی شده است. چنین به نظر می‌رسد که میزان آرماتور بکار برده شده کافی است، اما بتن به سختی در اثر نیروهای زلزله آسیب دیده است؛ به نحوی که قطعه قطعه شده و نهایتاً سازه سقوط کرده است. شما به وضوح می‌بینید که سازه چگونه به دلیل این که آرماتوربندیهایش در برابر تحمل نیروهای زلزله ناتوان شده‌اند، با از بین رفتن بتن بر زمین سقوط کرده است.

(زلزله ایتا-کن-چوبو، ژاپن، ۱۹۷۵)

۲۱۰< نمای نزدیک از پایهٔ سازهٔ ورودی عوارضی

خرابی قسمت فوقانی هتل در اثر لرزهٔ اصلی

تمامی سازهٔ هتل، مانند امواج دریا دچار تغییر شکل شده است و دلیل آن آسیبهای جدی است که به ستونهای سازه وارد آمده است. می‌بینید که ساختمان یک طبقهٔ فروشگاه بزرگ شهر (تابلوی زرد رنگ) دچار خسارت نشد، اما این هتل چند طبقه به شدت آسیب دید و دلیل آن پدیدهٔ رزونانس(تشدید) بود که در اثر حرکت زمین لرزه در سازه بوجود آمد.

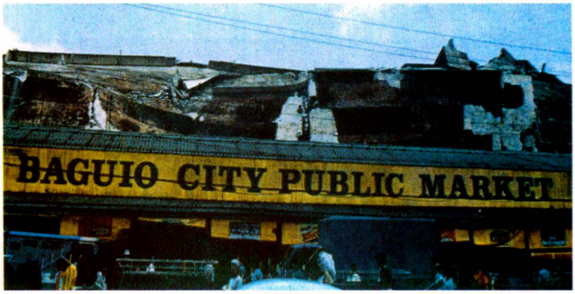
(زلزلهٔ جزیرهٔ لازون، فیلیپین، ۱۹۹۰)

۲۱۱ خرابی قسمت فوقانی هتل در اثر لرزهٔ اصلی

پس لرزه‌ها گاهی خیلی خطر آفرینند.

هتل چند طبقه تصویر قبل را می‌بینید که توسط بزرگترین پس لرزه به کلی فرو ریخت این اتفاق بیانگر این مطلب است که پس لرزه‌ها می‌توانند خسارات جدی به سازه‌های نیمه خراب وارد آورند.

(زلزلهٔ جزیرهٔ لازون، فیلیپین، ۱۹۹۰)



۲۱۲ پس لرزه‌ها گاهی خیلی خطر آفرینند.

نمونه‌ای از فرو ریختگی کیکی

این ساختمانی است که از آن به عنوان یک پارکینگ چند طبقه استفاده می‌شده است؛ لذا در ساخت آن دیوارهای معدودی بکار برده‌اند. این نحوهٔ فرو ریختگی نمونه‌ای است از نحوهٔ فرو ریختگی کیکی در ساختمانها.(Pan (cake- type

(زلزلهٔ میشیگان، مکزیک، ۱۹۸۵)

۲۱۳ نمونه‌ای از فرو ریختگی کیکی

فرو ریختن یک هتل با تراسهای «H» شکل در شهر باگویو، فیلیپین

شهر باگویو یک تفریحگاه زیبای تابستانی در فیلیپین است. یک برج با تراسهای «H» شکل که به عنوان هتل شهر از آن استفاده می‌شد از یک طرف دچار آسیب دیدگی شد و به همان سمت فرو ریخت. نمونه‌های اینچنینی از فرو ریختگی خیلی به ندرت رخ می‌دهند، یعنی برج آنقدر محکم ساخته شده بود که بلافاصله بعد از زلزله دچار ریزش کیکی نشود؛ اما آنچه باعث ویرانی هتل شد رزنانس بود که لحظاتی بعد از شروع زلزله در یک زمان معین به وقوع پیوست. به نظر می‌رسد که فرو ریختگی باید بخاطر زیاد شدن دامنه تغییر مکانها بوده باشد. (زلزلهٔ جزیرهٔ لازون، فیلیپین، ۱۹۹۰)

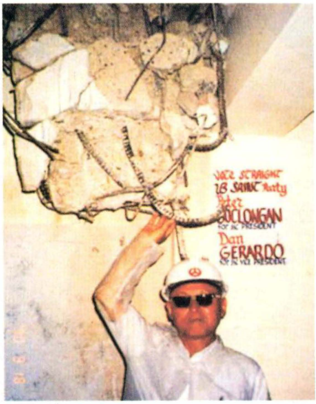
۲۱۴◄ فرو ریختن یک هتل با تراسهای «H» شکل در شهر باگویو، فیلیپین

نمای نزدیک از هتل

این تصویری است که از نزدیکی هتل با تراسهای «H» شکل گرفته شده است. دیده می‌شود که بخشی ازآرماتوربندیهایی که در داخل ستونها وجود داشته، کج شده و بیرون زده‌اند. این باعث ضعیف شدن و کمبود مقاومت چسبندگی بین بتن و آرماتورها شده است. چنین به نظر می‌رسد که آرماتورهای حلقوی (خاموتها) به طور متراکم و در جای صحیح خود قرار نداشته‌اند.
(زلزلهٔ جزیرهٔ لازون، فیلیپین، ۱۹۹۰)

۲۱۵◄ نمای نزدیک از هتل

۲۱۶< پیدایش ترکهای برشی در یک ستون کوتاه



۲۱۷< ستونها سقف را خرد کرده‌اند

پیدایش ترکهای برشی در یک ستون کوتاه

این ساختمانی در شهر باگویو در فیلیپین است. نحوهٔ خراب شدن ستونهای کوتاه این ساختمان را در اثر نیروی برشی در عکس می‌بینید. مشاهده می‌شود که به منظور تقویت ستون از جفت آرماتور در آرماتوربندی ستون استفاده شده است. همچنین خاموتهای نازک هم به فواصل ۳۰cm از هم بسته شده‌اند. و دیده می‌شود که پوشش بتنی ستون نازک بوده است.

(زلزلهٔ جزیرهٔ لازون، فیلیپین، ۱۹۹۰)

ستونها سقف را خرد کرده‌اند.

پس از آنکه اتصال در اثر زلزله از بین رفت، ستون سقف را شکست و بدین شکل در فضا معلق ماند.

(زلزلهٔ جزیرهٔ لازون، فیلیپین، ۱۹۹۰)

ویرانی کامل یک دبیرستان

این تصویری است از ساختمان یک دبیرستان در مکزیک که در اثر زلزله به کلی ویران گشت. در حال حاضر در مدارس ژاپن به کلیهٔ دانش‌آموزان ژاپنی آموزشهای پیشگیرانه در برابر زلزله آموخته می‌شود تا با انجام اعمالی مانند پنهان ساختن خود در زیر میزها جان خود را حفظ کنند. اما عدم انجام این کار در مکزیک باعث کشته شدن بسیاری از دانش‌آموزان شد.

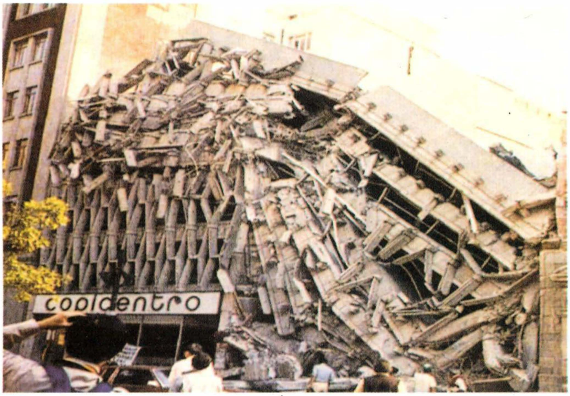
مکزیک کشوری است که مسیحیان کاتولیک در آن زندگی می‌کنند و این ماجرایی است که در رابطه با حادثهٔ این دبیرستان تعریف کرده‌اند «در هنگام آغاز زمین لرزه و شروع وحشت دانش‌آموزان ، معلم کلاس از دانش‌آموزان می‌خواهد که آرامش خود را حفظ کنند و در کلاس بمانند . تنها تعدادی از دانش‌آموزان جوانتر که سریعا از مدرسه خارج می شوند جان سالم بدر می‌برند و زنده می‌مانند و بقیه متأسفانه کشته می‌شوند»

(زلزله میشیگان، مکزیک، ۱۹۸۵)

۲۱۸< ویرانی کامل یک دبیرستان

لاغری چشمگیر ستونهای ساختمان

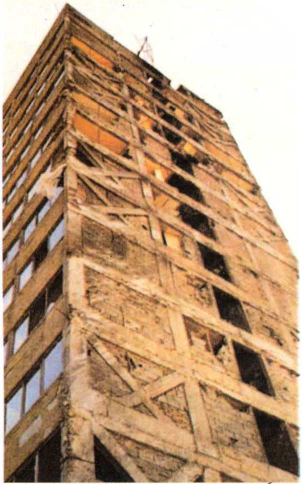
لاغری ستونهای این ساختمان کاملاً چشمگیر است و چنین به نظر می‌رسد که کمبود مقاومت ستونها باعث ویرانی سازه شده است.
(زلزلهٔ میشیگان، مکزیک، ۱۹۸۵)



۲۱۹< لاغری چشمگیر ستونهای ساختمان

ستونهای طبقات فوقانی ضعیف طراحی شده‌اند.

یکی از شاخصه‌های خسارات زلزله در شهر مکزیک ویرانی و آسیب دیدگی طبقات فوقانی سازه‌های چند طبقه بوده است. چنان که ذکر شد، معمولاً طبقات پایینی هستند که بیشتر در معرض فروریختگی می‌باشند و دلیل آن این است که بیشتر نیروی زلزله بر طبقات پائینی اعمال می‌گردد. براساس توضیح یک پژوهشگر مکزیکی مسأله این طور توجیه می شود که در مکزیک با دانستن این مطلب که نیروهای زلزله بر طبقات پائینی وارد می‌شوند، مقاومت طراحی را جهت ستونهای طبقات بالا کاهش داده‌اند. (همچنان که در تصویر پیدا است) باید پرسید آیا این کاهش در مقاومت طبقات بالایی زیاده از حد نبوده است؟(زلزله میچواکان، مکزیک، ۱۹۸۵)



۲۲۰< ستونهای طبقات فوقانی ضعیف طراحی شده‌اند.

فرو ریختگی طبقات فوقانی ساختمان

طبقات فوقانی این ساختمان که از آن برای نمایش ویژگیهای مکزیکی استفاده شده بود، دچار فرو ریختگی و آسیب شدید شد.
(زلزله میچواکان، مکزیک، ۱۹۸۵)

۲۲۱< فرو ریختگی طبقات فوقانی ساختمان

فرو ریختن کیکی شکل در طبقات فوقانی ساختمان

این ساختمان یک ادارهٔ دولتی در مکزیک است که معادل است با وزارت بازرگانی و صنعت در کشور ژاپن. مشاهده می‌شود که در اینجا هم طبقات فوقانی سازه به شدت دچار آسیب دیدگی شده‌اند.

(زلزله میچواکان، مکزیک، ۱۹۸۵)

۲۲۲> فرو ریختن کیکی شکل در طبقات فوقانی ساختمان

گرد و غبار ناشی از فرو ریختن ساختمان، خطر آفرین می‌باشد.

نجات یافتن چهار نوزاد تازه متولد شده در یکی از بخشهای این زایشگاه (با وجود مرگ مادرانشان) امری بود که زبانزد مردمان شد. این عکسی است که تقریباً سه هفته پس از زلزله گرفته شده است. چنین گفته می‌شود که اجساد بیش از ۳۰۰ نفر از مردم همچنان در زیر آوار باقی مانده بود. این عکس بیان می‌کند که در اثر فرو ریختن ساختمان ابر بزرگی از گرد و غبار ایجاد شده و گفته می‌شود که تقریباً نیمی از قربانیان در اثر همین گرد و غبار دچار خفگی شده‌اند.(زلزله میچواکان، مکزیک، ۱۹۸۵)

۲۲۳> گرد و غبار ناشی از فرو ریختن ساختمان، خطر آفرین می‌باشد.

خسارات و تلفات بسیاری که ناشی از خرابی کیکی طبقات می‌باشد.

این عکس نمونه‌ای از فرو ریختن کیکی یک ساختمان می‌باشد که در اثر آن بیش از ٦٠ نفر از مردم جان خود را از دست دادند. این تصویر فرو ریختن یک ساختمان ٦ طبقه را در شهر مایانو نشان می‌دهد.

(زلزله فریولی، ایتالیا، ۱۹۷٦)

۲۲٤< خسارات و تلفات بسیاری که ناشی از خرابی کیکی طبقات می‌باشد.

علیرغم داشتن میلگرد کافی،...

ستونهای این آپارتمان، فوق‌العاده لاغر طراحی شده‌اند و قسمت اصلی ستونها از آجر تشکیل شده است. در واقع ستون از آجر ساخته شده است و بتن مسلح تنها در هستهٔ ستون استفاده شده است. اگر ستونها در اثر زلزله ویران نشده بودند، شاید خیلی ستونهای پر استقامت و با تحملی به نظر می‌آمدند.(به لحاظ شکل ظاهری ستونها قبل از بروز خسارت)

(زلزله جنوب ایتالیا، ایتالیا، ۱۹۸۰)

۲۲۵< علیرغم داشتن میلگرد کافی،...

مقاومت اندک دیوارهای آجری در برابر زلزله

شهرهای جنوب اروپا، خاورمیانه، چین و بخش‌های مرکزی و جنوبی آمریکا مناطقی هستند که در آنها همانند ترکیه از ساختمان‌هایی با قالب بتنی مسلح و دیوارهایی با آجر پخته استفاده می‌شود.

از آنجایی که در دیوارهای آجری نمی‌توان از آرماتور تقویتی استفاده نمود، لذا هیچ‌گونه اتصالی توسط آرماتورهای فولادی بین ستون‌ها و تیرهای بتنی مسلح با دیوارهای آجری وجود نخواهد داشت و تنها می‌توان از ملات استفاده نمود. هنگامی که زلزله رخ می‌دهد، این دیوارها (همچنان که در این شکل هم مشاهده می‌شود) از ستون‌ها جدا می‌شوند وتنها قاب ستونها بر جای باقی می ماند.

۲۲٦< مقاومت اندک دیوارهای آجری در برابر زلزله

دیوارها آماده برای فروریختن

خانهٔ دیگری را شاهد هستید که پیش از زلزله در طبقه اول آن از دیوار آجری استفاده شده بود، اما دیوار فروریخت و قطعات آجر در اطراف پراکنده شدند. از آنجایی که نمی‌توان از فولاد جهت مسلح ساختن دیوارها استفاده نمود، لذا میزان اتصال دیوار، با تیر و ستونها ناچیز است. در نتیجه دیوارها، به سرعت در طول زلزله از ساختمان جدا می‌شوند و فرو می‌ریزند.
(زلزله نزدیک آتن، یونان، ۱۹۹۹)

۲۲۷ دیوارها آماده برای فروریختن

بررسی مشاهدات، لاغری ستون را به خوبی نشان می‌دهد.

در تصویر شاهد هستید که قسمت آجری از ستون کنده شده و فروریخته‌است و قسمت بتنی مرکز ستون (که لاغر و کم استقامت است) بر جای باقی مانده است.
(زلزلهٔ جنوب ایتالیا، ایتالیا، ۱۹۸۰)

۲۲۸ بررسی مشاهدات، لاغری ستون را به خوبی نشان می‌دهد.

در تایوان هم!

ساختمان سمت چپ به شدت کج شد و اصابت آن با ساختمان مجاور باعث مرگ ۷۹ نفر در این ۲ ساختمان شد. تصور بر این است که علت سانحه استفاده از قاب بتنی با دیوارهای آجری (همانند دو تصویر قبل) بوده است و همچنان که گفته شد دیوار آجری به سرعت فرو می‌ریزد. استفاده از این نوع ساختمان‌ها در تایوان بسیار رایج است.
(زلزله جی ـ جی، تایوان، ۱۹۹۹)

۲۲۹ در تایوان هم!

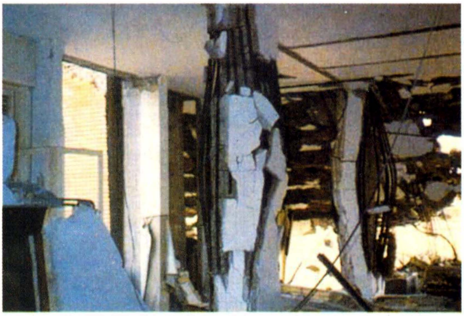
فرو ریختن سازه‌های پیش ساخته

در شهر اسپیتاک در ارمنستان، ۸۰٪ آپارتمانهای مسکونی در اثر یک زلزلهٔ بزرگ فروریختند. بخشهای زیادی از ساختمانها از مصالح پیش ساخته تشکیل شده بود و ساختمانها به قطعات مختلف شکستند که صاحبنظران دلیل آن را اتصال اشتباه ۲ یا چند قطعه بتنی (با وجود مقاومت بالای هر یک از اجزاء به تنهایی) ذکر می کنند.(زلزله اسپیتاک،ارمنستان، ۱۹۹۰)

۲۳۰ فرو ریختن سازه‌های پیش ساخته

با آنکه به اندازه کافی میلگرد استفاده شده است اما...

این وضعیت خسارت وارد به یک بیمارستان می‌باشد. حجم زیادی آرماتور به منظور مسلح کردن ستون در آن به‌کار رفته است. اما، ظاهراً آرماتورها دارای چسپندگی مناسبی به بتن نبوده‌اند. آیا چنین فکر نمی‌کنید که بتن بکار رفته خیلی مناسب نبوده است؟
(زلزله جنوب ایتالیا، ایتالیا ۱۹۸۰)



۲۳۱> با آنکه به اندازه کافی میلگرد استفاده شده است، اما...

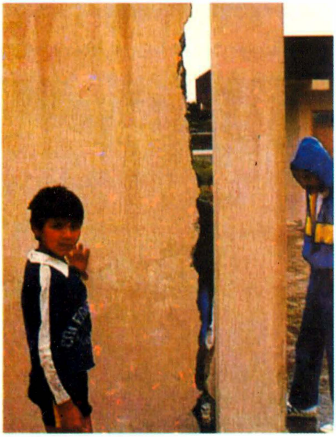
یک دال نازک

این تصویر خسارت وارد به یک آپارتمان مسکونی است. چنین به نظر می‌رسد که دال بتنی خیلی نازک طراحی و اختیار شده است.
(زلزله شیلی، شیلی، ۱۹۸۵)

۲۳۲> یک دال نازک

اتصال ضعیف بین دیوار و ستون

اتصال بین دیوار و ستون به خوبی ایجاد نشده است؛ به نحوی که یک سطح یکپارچه بوجود نیامده است تا بتواند در برابر بارگذاری زلزله مقاومت داشته باشد. درز ایجاد شده در حدی است که می‌توان از میان آن طرف دیگر را دید. دلیل این اتفاق عدم استفاده از میلگرد در بین دیوار و ستون می‌باشد.
(زلزله اکوادر، اکوادر، ۱۹۸۷)



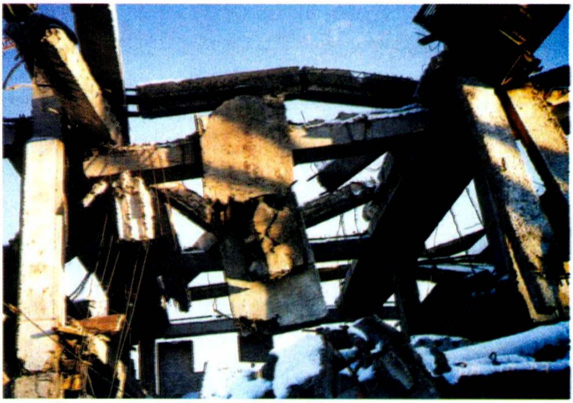
۲۳۳> اتصال ضعیف بین دیوار و ستون

۲۳۴◁ تولید انبوه و خرابی لرزه‌ای

تولید انبوه و خرابی لرزه‌ای

در اتحاد جماهیر شوروی سابق یا در یک کشور سوسیالیستی با حکومت مرکزی قوی، مراحل مختلف طراحی انواع مختلف ساختمانها، استاندارد و همگون می‌شود و حتی تعیین میزان مقاومت ساختمانهای مختلف در برابر زلزله هم به شکل یکسانی یکپارچه سازی می‌شود. در نتیجه هنگامی که شدت یک زلزله از یک حد معینی بیشتر می‌گردد، تقریباً تمامی ساختمانها باید دچار خسارت و ویرانی شوند.

(زلزله اسپیتاک،ارمنستان، ۱۹۹۰)



۲۳۵◁ قاب (تیرریزی) با اتصالات ضعیف

قاب (تیرریزی) با اتصالات ضعیف

یک سازهٔ قابی که در حال ساخت بوده است، به طور غیر قابل پیشگیری دچار فرو ریختگی شد. المانهای سازه‌ای به مقدار کافی قوی در نظر گرفته شده بودند؛ اما اتصالات دایمی آنها به یکدیگر همچنان که در شکل هم مشاهده می‌شود به شکل نامناسبی اجرا شده بود و همین باعث خرابی سازه شد.

(زلزله اسپیتاک، ارمنستان، ۱۹۹۰)

۲۳۶◁ کمبود دیوار باعث خرابی کیکی

کمبود دیوار باعث خرابی کیکی

این نمونه‌ای از فرو ریختگی کیکی (Pancake-type) است که در آن طبقات بر روی یکدیگر می‌افتد و در واقع سطح طبقات بر یکدیگر مماس می‌شوند. این ساختمان بدین نحو فرو ریخت و دلیل آن کمبود دیوار و استفاده بسیار از پنجره‌های شیشه‌ای در ساختمان بود که در معماری آن زمان رومانی بسیار معمول بوده است. مشاهده می‌کنید که هیچ گونه خسارتی به ساختمان مجاور وارد نیامده است. تصویر، مربوط به ساختمان ویران شدهٔ مرکز کامپیوتر بین‌المللی بخارست می‌باشد.

(زلزله رومانی، رومانی، ۱۹۷۷)

■ خسارات وارد به سازه‌های فلزی

در بین مصالح مختلف برای ساخت سازه‌ها، فولاد مقاوم‌ترین مصالح در برابر زلزله می‌باشد. بنابراین، ویرانی یک سازهٔ فلزی در اثر زلزله امری است که به ندرت رخ می‌دهد. البته مواردی هم از خسارت به سازه‌های فلزی به وقوع پیوسته است که از علل این امر می‌توان به جوشکاری نامناسب در حین اجرای ساختمانها در ژاپن و یا رخداد پدیدهٔ رزنانس در سازه‌های با اعضای مقاوم محدود، در کشورهای دیگر اشاره کرد.

جوشکاری نامناسب سبب فرو ریختن سازه شد.

به علت وجود جوشکاری نامناسب و غلط، سازه فروریخته است. رخداد این قبیل آسیب دیدگی‌ها ممکن است ناشی از واقع بودن سازه بر لبه صخره باشد.
(زلزله ایزو- اشیما- کینکای، ژاپن، ۱۹۷۸)

۲۳۷◄جوشکاری نامناسب سبب فرو ریختن سازه شد.

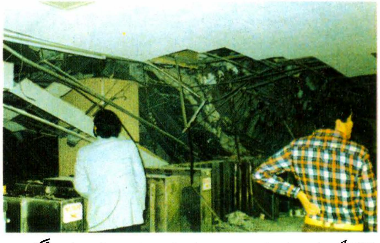
بروز یک خسارت نسبتاً پیچیده

دو ساختمان ۲۰ طبقهٔ اسکلت فلزی در کنار یکدیگر واقع شده بودند اما در اثر زلزله یکی از آنها توانست با سختی و دشواری مقاومت کند و فرو نریزد، ولی ساختمان دیگر با آنکه مشابه بود، به طور کلی فرو ریخت که بخشی از فرو ریختگی را در تصویر مشاهده می‌نمائید. ساختمان ۲۰ طبقه بر روی یک ساختمان ۱۲ طبقه در مقابل خود واژگون شد و باعث شکستگی و ویرانی آن گردید و سپس بر روی یک ایستگاه مترو ریخت. جزئیات این فرو ریختگی واقعاً پیچیده و در هاله‌ای از سؤال می‌باشد.
(زلزله میچواکان، مکزیک، ۱۹۸۵)

۲۳۸◄بروز یک خسارت نسبتاً پیچیده

ساختمان فرو ریخته باعث خرابی سقف ایستگاه مترو شد.

بخشهایی از ساختمان ویران شده مربوط به تصویر قبل از سقف ایستگاه مترو بیرون زده است. این اتفاق شوک شدیدی برای یک کارمند زن که مسؤول فروش بلیط بود، به وجود آورد.
(زلزله میچواکان، مکزیک، ۱۹۸۵)



۲۳۹◄ساختمان فرو ریخته باعث خرابی سقف ایستگاه مترو شد.

ضعف اتصالات و تخریب ساختمان

این هم نمونه‌ای از یک ساختمان فلزی ضعیف و قدیمی که در داخل خود منهدم گشته و تقریباً از جلو تا وسط روی‌هم ریخته است. در ساختمانهای فلزی، جوش و پیچ در اتصالات نقش بسیار مهمی را ایفا می کنند.
(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۲٤۰◁ ضعف اتصالات و تخریب ساختمان

تخریب ساختمان بخاطر شکست طبقه اول

تا آنجا که بخاطر دارم قسمت پائین (طبقهٔ همکف یا اول) این ساختمان زیبا منهدم شده بود. لذا چاره‌ای جز تخلیه، تخریب و برچیدن آن نبود. آنچه در عکس ملاحظه می کنید عملیات تخریب بالا به پائین این ساختمان توسط فک‌های محکم بیل میکانیکی بلندی است که در جلوی ساختمان به چشم می‌خورد. تصور کنید چه غبار عظیمی ناشی از تخریب و برچیدن ساختمان‌های اینچنینی در شهر بوجود آمد.
(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۲٤۱◁ تخریب ساختمان بخاطر شکست طبقه اول

واژگونی یک سیلوی سیمان

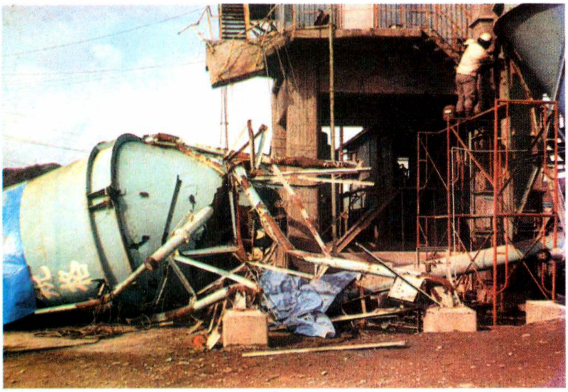
یک سیلوی سیمان که متعلق به یک کارخانهٔ سازنده بلوکهای بتنی بود، در شهر لازاروکاردناس (در نزدیکی مرکز زلزله) دچار واژگونی گردید. این نحوهٔ فروریختگی‌ها به ندرت در ژاپن رخ می‌دهد.
(زلزلهٔ میچواکان، مکزیک، ۱۹۸۵)

۲٤۲◁ واژگونی یک سیلوی سیمان

سیلوی سیمان جزء سازه‌های سقف سنگین محسوب می‌شود.

سیلوی سیمان نمونه‌ای از ساختمان با قسمت فوقانی سنگین (Top-heavy) محسوب می‌شود. بروز خساراتی از قبیل تصویر روبه‌رو، معمولاً به ندرت رخ می‌دهند.

(زلزله اوراگا - اوکی - ژاپن، ۱۹۸۵)



۲۴۳< سیلوی سیمان جزء سازه‌های سقف سنگین محسوب می‌شود.

با استفاده از تصاویر و توضیحات صفحات قبل تا حدودی یک سیمای کلی و عمومی از خسارات ناشی از زلزله ترسیم شده است.

در ژاپن نیز نمونه‌هایی از فرو ریختگی ساختمانها در اثر زلزله پدید می‌آید . خسارات وارد به سازه ها در ژاپن عموماً به گونه ای است که یکی از طبقات منهدم می‌گردد نه اینکه کل ساختمان فرو ریزد. این امر باعث می شود تا تعداد تلفات کاهش یابد. پدیده «خرابی کیکی» در ژاپن بسیار نادر می باشد. هر چند که متأسفانه در کشورهای دیگر در اثر رخداد زلزله، افراد بسیاری جان خود را از دست می‌دهند که علت اصلی آن ویرانی خانه‌های ساخته شده با مصالح بنایی می‌باشد.در ایران راه درازی برای کاهش تلفات و خسارات در هنگام زلزله وجود دارد که بطور جدی و بعد از زلزله خرداد ۱۳۶۹ منجیل - رودبار - زنجان، آغاز شده است. استاندارد ۲۸۰۰ تدوین و بازبینی گردیده است؛ لیکن وجود سازه های قدیمی ساز، عدم آشنایی عملی مهندسان طراح و ناظر با مقوله زلزله و عملکرد سازه ها در هنگام آن، عدم تمایل کارفرمایان به پرداخت هزینه های مربوط به رعایت استاندارد(بویژه آنها که به کار «بساز و بفروشی » مشغول هستند) و نارسایی در فناوری‌های اجرایی از عوامل اساسی هستند که کشور ایران را در مقابل زلزله و صدمات و تلفات ناشی از آن بسیار آسیب پذیر نموده‌اند. تمامی سعی و کوشش محققین و پژوهشگران بر این است که تعداد قربانیان این قبیل حوادث تا حد ممکن کاهش یابد.

فصل ششم

سایر حوادث و عوارض ناشی از زلزله

■ اثرات ثانویه زلزله

بعد از وقوع لرزه اصلی که به «زلزله» معروف است، پیامدهای فیزیکی و غیرفیزیکی دیگری روی خواهد داد که چه در کوتاه مدت و چه در بلندمدت زندگی مردم را شدیداً تحت تأثیر قرار خواهد داد. رویدادهای بعد از زلزله را بهتر است به صورت زیر دسته بندی کنیم:

الف- پدیده های خطرزای بعد از زلزله شامل:

- پس لرزه ها
- آتش سوزیها
- آبتازها (سونامی)

ب- اثرات مشکل زای بعد از زلزله شامل :

- شیوع بیماریهای مختلف
- بیماریهای روحی بواسطه ازدست دادن عزیزان
- آوارگی و عدم سکونت مناسب بواسطه تخریب منازل
- ورشکستگی ناشی از خسارات وارده به محل کسب و نبودن بازار کار
- مشکلات ترافیکی زیاد بواسطه خرابی خیابانها، معابر و پلها
- مشکلات ناشی از قطع آب در پخت و پز، استحمام و توالت
- مشکلات ناشی از قطع گاز در پخت و پز، استحمام و گرمایش

در اینجا هریک از موارد «الف» و «ب» را بطور مختصر شرح خواهیم داد تا خواننده محترم نسبت به آنچه که بعد از زلزله میتواند روی داده و شرایطی که بوجود خواهد آمد، تصور بهتری پیدا نماید.

۱- وقوع پس لرزه ها

باتوجه به اینکه انرژی کرنشی ذخیره شده در پوسته زمین در منطقه زلزله زده بتدریج آزاد می‌گردد، تنها بخش اعظم آن در لرزهٔ اصلی که زلزله نامیده می‌شود، آزاد می‌گردد. بخش باقیماندهٔ انرژی به مرور زمان با ایجاد شکستگی‌های بیشتر در محل کانون، لرزه های دیگری ایجاد می‌نماید که تعداد آنها می‌تواند به چندصد لرزه و برای مدتی تا حدود یکسال ادامه یابد. گرچه پس لرزه ها به قدرت اصلی لرزه اصلی نیستند، لیکن بعضی از آنها بویژه در روزهای اولیه آنچنان لرزه‌ای ایجاد میکنند که می‌تواند بخش قابل توجهی از سازه های نیمه خراب را بطور کامل منهدم نماید.

برای مثال ،یکی از نکات جالبی که در یکی از پروژه‌ها به آن برخورد کردیم آن بود که در بعضی مناطق محل پروژه، سطح آب زیرزمینی توسط پمپهایی که بصورت شبانه روزی کار می‌کردند پائین نگه داشته میشدند، بطوریکه اگر این پمپها تنها یک دوره ده ساعته خاموش می‌شدند سطح آب زیرزمینی به منازل مردم می‌رسید و اگر در همین مدت که بواسطه قطع برق ناشی از لرزه اصلی، پمپها خاموش بودند، پس لرزه قوی اتفاق می افتاد احتمال بروز پدیده روانگرایی در بعضی قسمتهای این منطقه بطور قابل توجهی افزایش می یافت.

۲- آتش سوزیها

وجود هرگونه جرقه یا حرارت زیاد مستمر در کنار مواد سوختنی و مشتعل شونده، در نهایت منجر به آتش سوزی خواهد گردید. چند عنوان جالب در رابطه با آتش سوزی شهرها در هنگام زلزله عبارت از موارد زیر هستند:

الف) عوامل ایجاد آتش

ب) گسترش آتش در شهر

ج) عملکرد ساختمانهای مختلف در برابر آتش

الف- عوامل ایجاد آتش

بنا به تجربهٔ زلزله های گذشته بویژه در ژاپن عوامل ایجاد آتش، می‌توانند از جمله موارد زیر باشند:

- استفاده از وسایل گاز سوز نظیر اجاق گاز پخت و پز غذا و آبگرمکن
- نشت گاز در اثر شکست لوله های گاز ناشی از تخریب ساختمان و وقوع جرقه ماشین، اتصال برق، فندک یا پیلوت وسایل گازسوز
- وسایل برقی حرارتی بویژه بخاری برقی روشن در هنگام زلزله میتواند منجر به سوختن لوازم پارچه ای، چوبی یا ساخته شده از مواد شیمیایی نظیر فرشها ، ملحفه ها، لباسها، کتاب و کتابخانه ها و امثال آنها گردد.
- اتصالات سیمهای برق اگر در مجاورت محیطهای مشتعل شونده مثل گاز، بنزین، نفت و پنبه و امثال آنها روی دهد.
- وصل مجدد جریان برق بعد از زلزله بدون اطمینان از صحت شبکه مصرف کننده ها

ب- در مورد گسترش آتش در شهرها عوامل ذیل بسیار موثرند:

- نزدیکی ساختمانها به یکدیگر که در اثر شعله ورشدن یک ساختمان، زبانه شعله ها به ساختمانهای مجاور نیز رسیده و آنها را مشتعل نماید.
- وزش باد در هنگام آتش سوزی باعث سرایت آن به نقاط مجاور گردیده و باعث خسارات فراوانی خواهد گردید.
- نبودن فضاهای حائل نظیر پارکها و رودخانه ها بین محله های مختلف شهر که این امر نیز باعث گسترش و سرایت آتش از محله ای به محلهٔ دیگر می‌گردد. یکی از نکات بسیار مهم در شهرسازی نوین در مقابل زلزله توجه به این نکته اساسی و تقسیم شهر به محله هایی است که بوسیله رودخانه ها یا پارکها از یکدیگر جدا شده اند.
- نبودن آب ، شیرهای آتش نشانی یا ماشینهای آتش نشانی، نیز خود از عوامل گسترش آتش در شهرها می‌باشد.

ج- رفتار ساختمانهای مختلف در برابر آتش سوزی با یکدیگر متفاوت بوده و از خود مقاومتهایی بصورت زیر نشان می‌دهند:

- ساختمانهای چوبی در برابر آتش سوزی بسیار ضعیف بوده و در زلزله سال ۱۹۹۵ شهرکوبه ژاپن حدود ۲۳۰۰۰ واحد مسکونی که قریب به اتفاق آنها چوبی بودند، در آتش سوختند.
- ساختمانهای با اسکلت فلزی اگر دارای پوشش بتنی یا عایق آتش روی تیرها و ستونها باشند، می‌توانند تا یک یا دو ساعت در برابر آتش مقاومت کنند. در هر صورت فولاد در مقابل آتش مقاومت زیادی ندارد و خواص مقاوم خود را از دست می‌دهد و فرو می‌ریزد.

- ساختمانهای بتن مسلح دارای مقاومت نسبتاً خوبی در برابر آتش می‌باشند و می‌توانند تا ساعات زیادی مقاومت نمایند؛ لیکن داغ شدن ستونها و تیرها باعث رسیدن حرارت زیاد به میلگردهای فولادی داخلی گردیده و باعث می‌شود ساختمان فرو ریزد.

۳- سونامی

سونامی یک لغت ژاپنی است که به معنای امواج بزرگ می‌باشد و ترجمهٔ آبتاز در فارسی برای آن بی مناسبت نیست. خطر سونامی عمدتاً برای مناطق ساحلی دریاها و اقیانوسها می‌باشد. مثلاً در کشور ژاپن که یک جزیرهٔ بسیار بزرگ است خطر سونامی یک خطر بسیار جدی می‌باشد و همیشه بعد از وقوع زمین لرزه ها، سریعاً اطلاعات مربوط به احتمال وقوع سونامی و شرایط مربوطه، در صفحه تلویزیون ظاهر می‌گردد و از طریق رادیو و سایر وسایل ارتباطی به اطلاع مردم مخصوصاً در مناطق در معرض خطر می‌رسد.

علت اصلی این پدیده حرکت و جابجایی بخش عظیمی از آب می‌باشد. بویژه وقتی گسل منشاء زلزله در داخل دریا باشد،(نظیر بخش قابل توجهی از زلزله های ژاپن) و مخصوصاً اگر مؤلفه قائم حرکت گسل زیاد باشد، امواج بسیار بلندی از آب (گاهی تا چندین متر) به سمت ساحل هجوم می‌برد و پس از پیشروی در ساحل در نهایت به دریا برمی‌گردد و همه چیز را با خود به دریا می‌آورد. از نمونه های قدیم و جدید سونامی می‌توان از سونامی بزرگی در استانبول ترکیه (در دریای مرمره) نام برد که چنان خسارتی به استانبول وارد نمود که مردم از آن بعنوان قیامت صغری (کوچک) نام برده اند. سونامی سال ۲۰۰۰ میلادی در گینه نیز چندین هزار نفر در این کشور را از پای در آورد و خسارات زیادی به بار آورد.

٤- بیماریهای مسری

زیر آوارماندن کشته‌ها بویژه در فصول گرم و در شرایطی که امکانات بهداشتی در منطقه زلزله با مشکل روبروست، باعث بیماریهای مختلف داخلی و پوستی بین افراد می‌گردد که می‌تواند منجر به سرایت بیماریهای مهلک شود.

۵- مشکلات ترافیکی

خرابی جاده ها ، پلها و تونلها باعث می‌گردد تا حمل و نقل و تردد داخلی شهری در مناطق زلزله زده بسیار مشکل شود. این امر باعث می‌گردد تا مشکلات بسیار زیادی در امدادرسانی های فوری بعد از زلزله بوجود آید. مثلاً خرابی جاده و پل در چند نقطه ـ در زلزله سال ۱۹۹۵ ترکیه ـ باعث شد تا نیروهای کمکی پس از ٢٤ ساعت به محل زلزله برسند. علاوه بر این تا مدتها حضور در محل کار برای مردم بسیار مشکل می‌باشد. نقل و انتقالات کالا بویژه صادرات و واردات دچار مشکلات جدی می گردد که ممکن است باعث رکود اقتصادی منطقهٔ آسیب دیده گردد.

٦- کمبود آب

باتوجه به آسیب شبکه های آب و طولانی بودن تعمیر آسیبها، برخی از مناطق شهر تا حدود چند ماه از داشتن آب تصفیه شده از طریق شبکهٔ آبرسانی محروم خواهند شد. در مدت قطع آب ، آب از طریق بطری، دبه، تانکر یا شیرهای محلی توزیع خواهد شد. لازم به تذکر است که یکی از مشکلات اساسی در کمبود آب تصفیه شده، هرز رفتن آب از مخازن آسیب دیده یا ترکیدگیهای متعدد لوله ها در زیرزمین می‌باشد. کمبود آب باعث مشکلات زیادی از قبیل موارد ذیل می گردد:

- پخت و پز غذا

- حمام رفتن: نبودن آب برا ی حمام در هفته اول پس از زلزله باعث خارش پوست سر، چرب شدن موی سر، خارش و بوگرفتن بدن می‌گردد که بسیار آزار دهنده می باشد. در این موارد بایستی از حمام های موقت که بصورت محلی نصب می‌شود، استفاده نمود.

در صورت امکان، می‌توان برای استحمام به سایر قسمتهای شهر رفت که جریان آب برقرار است. در زلزله ۱۹۹۵ کوبه ژاپن برای مقابله با خارش پوست سر و چرب شدن مو، شامپوهای خشک مورد استفاده قرار می‌گرفت که تنها با اسپری کردن شامپو روی سر، پس از لحظاتی با حوله سر را خشک کرده و مو طراوت و جلا می یابد.

- توالت رفتن: آب برای پاکیزه نمودن بدن و همچنین شست و شوی توالت لازم است. برای بدن، آب بهداشتی لازم است در حالیکه برای پاکیزگی توالت میتوان از آب غیر بهداشتی نیز استفاده نمود.

۷- مشکلات ناشی از قطع گاز

آسیب شبکه گاز علاوه بر خطرات آتش سوزی و گاز گرفتگی و انفجارات، باعث قطع جریان گاز بعد از زلزله می‌شود که موجب مشکلات زیر می گردد:

- پخت و پز: وقتی گاز قطع باشد، پخت و پز نیز بسیار مشکل می شود. جهت مقابله با این مشکل می‌توان از وسایل پخت و پز برقی استفاده نمود. استفاده از گاز کپسولی نیز بطور موقت می‌تواند مشکل را حل نماید. پخت و پز با هیزم و ذغال بیشتر در مناطق روستایی می‌تواند کارساز باشد.

- استحمام: نبودن گاز باعث می‌گردد که حتی اگر جریان آب برقرار باشد بواسطه نبودن آب گرم، استحمام امر مشکلی باشد. مخصوصاً اینکه زلزله در زمستان واقع شده باشد. استفاده از وسایل برقی جهت گرم کردن آب راه حل خوبی می‌باشد. در ضمن گاز کپسولی نیز می‌تواند بطور موقت استفاده شود.

۸- آوارگی

تخریب تعداد زیادی از واحدهای مسکونی باعث هجوم آوارگان به چادرهای موقتی می‌شود. لیکن بعد از آن بایستی از خانه های پیش ساخته موقت برای مردم استفاده نمود. در نهایت کسانی‌که قادر به ساختن واحدهای مسکونی خود نیستند، (به دلایل مختلف بویژه عدم توانایی مالی) رو به خانه های اجاره ای می آورند که با توجه به تقاضای زیاد برای خانه های اجاره ای مبالغ اجاره ای نیز درمنطقه بسیار افزایش یافته که این امر باعث می گردد ناتوانان دچار آوارگی شده و به تعداد بی خانمانها افزوده گردد.

۹- ورشکستگی

آسیب‌دیدگی مراکز تجاری و فلج شدن زندگی شهری و جابجایی دفاتر تجاری از منطقه آسیب دیده به سایر مناطق باعث می گردد که عده زیادی دچار ورشکستگی شوند که عوارض آن افزایش ناهنجاریهای اجتماعی و بویژه خودکشی و فساد می باشد.

۱۰- بیماریهای روحی

از دست رفتن عزیزان یا ناقص شدن آنها در کنار از دست دادن خانه و کاشانه فشارهای روحی زیادی را به آسیب دیدگان وارد می‌آورد که بهبود آنها نیاز به زمان بسیار زیادی دارد. این فشارهای روحی بطور عمده باعث خودکشی افراد یا عزلت گزینی آنها از فعالیتهای اجتماعی می گردد.

همچنان که در فصول قبل گفته شد، زلزله‌ها علاوه بر وارد آوردن خسارات به سازه‌ها، باعث بروز حوادثی مانند خرد شدن کوه‌ها و تپه‌ها، حرکت بهمن مانند سنگ و خاک و یا سیلاب گل و لای می‌شوند. در این فصل به بررسی مشکل آتش سوزی و همچنین سونامی، و مسأله‌ای که بعضاً بعد از زلزله‌ها پدید می‌آید، می‌پردازیم.

در ژاپن، با توجه به اینکه بیشتر خانه‌ها از چوب ساخته می‌شوند، تعداد بسیاری از قربانیان زلزله‌های گذشته در اثر آتش سوزی از بین رفته‌اند. همچنین افراد بسیاری هم جان خود را در اثر بروز سونامی از دست داده‌اند. جدول شماره ۹ طبقه‌بندی قربانیان زلزله‌های گذشته و خسارات ناشی از آن زلزله‌ها را نشان می‌دهد. افزایش در تعداد قربانیان بخاطر بروز آتش سوزی و یا سونامی بوده است.

جدول ۹- طبقه‌بندی قربانیان زلزله‌های گذشته و خسارات ناشی از آنها

نام زلزله	سال	بزرگی	تعداد کشتگان (علت اصلی)
زنکوجی	۱۸٤۷	٦/۹	۸۸۰۰ نفر ـ آتش‌سوزی و زمین‌لغزه
آنسی ـ تاکایی، آنسی ـ ناکایی	۱۸٥٤	۸	تعداد زیادی ـ سونامی بزرگ
آنسی ـ ادو	۱۸٥٥	۷	بیش از ٦۰۰۰ نفر ـ حریق بزرگ
نوبی	۱۸۹۱	۸	۷۸۸٥ ـ فرو ریختن سازه‌ها، آتش‌سوزی
ساتریکو ـ اُکی	۱۸۹٦	۸/٥	بیش از ۲۷۰۰۰ نفر ـ سونامی بزرگ
کانتو	۱۸۲۳	۷/۹	بیش از ۱٤۰،۰۰۰ نفر ـ آتش‌سوزی عظیم پس از زلزله
کیتا ـ تانگو	۱۹۲۷	۷/۳	بیش از ۲۹۰۰ نفر ـ آتش‌سوزی
ساشریکو ـ اُکی	۱۹۳۳	۸/۱	بیش از ۳۰۰۰ نفر ـ سونامی بزرگ
توتوری	۱۹٤۳	۷/۲	حدود ۱۰۰۰ نفر ـ در اثر فروریختن ساختمانها
تاناکای	۱۹٤٤	۷/۹	حدود ۱۰۰۰ نفر ـ سونامی
میکاوا	۱۹٤٥	۷/۱	حدود ۲۰۰۰ نفر ـ فروریختن ساختمانها
نانکای	۱۹٤٦	۸	حدود ۱٤۰۰ نفر ـ سونامی
ناکایی	۱۹٤۸	۷/۱	حدود ۳۹۰۰ نفر ـ آتش‌سوزی
تیگاتا	۱۹٦٤	۷/٥	۲٦ نفر ـ در اثر یک سونامی ضعیف
تاکاچی ـ اُکی	۱۹٦۸	۷/۹	٥۲ نفر ـ سونامی ضعیف
ایزو ـ هانتو ـ اُکی	۱۹۷٤	٦/۹	۳۰ نفر ـ زمین‌لغزه
ایزو ـ اُشیما ـ کانکای	۱۹۷۸	۷	۲٦ نفر ـ زمین‌لغزه
میاکی ـ کن ـ اُکی	۱۹۷۸	۷/٤	۲۸ نفر ـ فروریختن دیوار پیش ساخته
نیمون ـ کای ـ چابو	۱۹۸۳	۷/۷	۱۰٤ نفر ـ سونامی
ناگانو ـ کن ـ سیبو	۱۹۸٤	٦/۸	۲۹ نفر ـ زمین‌لغزه

✓ تعداد کشتگان معمولاً اندک است مگر در مواقع بروز آتش سوزی وسونامی

✓ تنها در صورتی که یک منطقهٔ وسیع دچار لرزش شود، حریق قابل توجهی ایجاد می‌گردد. البته با زلزله‌ای با شدت ٦ یا ۷ از مقیاس JMA

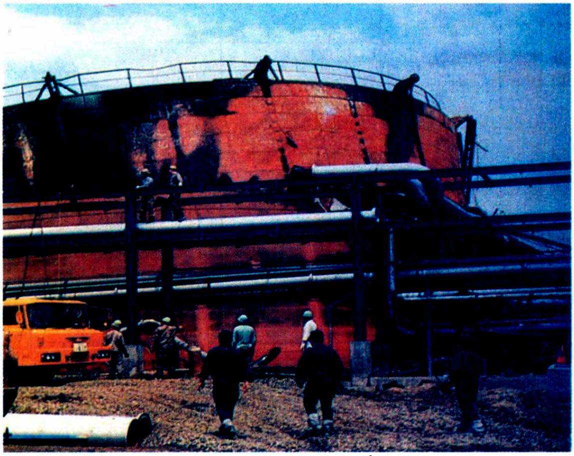
■ آتش سوزیها

خسارات ناشی از آتش سوزیهای پس از زلزله در ژاپن چشمگیر و قابل توجه است. در سایر کشورها، معمولاً پیدایش و گسترش آتش سوزی چندان به طول نمی‌انجامد و آتش، زود خاموش می‌شود. دلیل این امر ساخته شدن عموم ساختمانها از مصالح غیر قابل اشتعال می‌باشد و اینکه کمتر از چوب در آنها استفاده می‌شود. افزون بر آن، فضای گستردهٔ اطراف ساختمانها مانع گسترش آتش می‌شود.

ویژگی آتش سوزیهایی که در اثر یک زلزله ایجاد می‌شوند، این است که معمولاً در چند نقطه به شکل همزمان آتش سوزی ایجاد می‌گردد و این امر گاهی باعث پیدایش گردبادهایی می‌شوند. لذا، برای حفظ جان مردم باید آنها را به محل امنی هدایت نمود؛ چون بروز چند آتش سوزی با هم باعث می‌شود تا مردم اطلاع درستی از موقعیت خودشان از باب امن بودن، نداشته باشند.

آتش سوزی در مخزن گاز با سقف شناور

هنگامی که گاز آتش گرفت، همه در شگفت بودند که آیا انفجاری صورت می‌پذیرد یا خیر؟ واقعیت این بود که تنها گازی که از مخزن نشت می‌کرد سوخت و هیچ اتفاق دیگری رخ نداد. البته بخاطر عدم بروز انفجار جای تعجب نیست، چرا که در داخل مخزن اکسیژن وجود نداشت که امکان رخداد انفجار پیش آید.
(زلزله میاگی - کن - اکی، ژاپن، ۱۹۷۸)



۲۴۴➤ آتش سوزی در مخزن گاز با سقف شناور

دود غلیظ برخواسته از یک مخزن نفت آتش گرفته

سیستم اتوماتیک خاموش کنندهٔ آتش که در بالای قسمت داخلی دیوارهٔ مخزن نصب شده بود، در اثر جابجایی مخزن و نشت نفت، بعد از زلزله نیگاتا از کار افتاد و خراب شد. با آنکه مایعات خاموش کننده از داخل لوله‌ها وغلاف‌ها به درون مخزن هدایت می‌شدند اما در خاموش کردن آتش موفقیتی حاصل نشد. مخزن نفتی چندین روز در حال سوختن بود تا آنکه نفت آن تماماً سوخت و خالی شد. همزمان تعداد ۵۰۰ باب منزل مسکونی هم دچار حریق شدند وسوختند.
(زلزله نیگاتا، ژاپن، ۱۹۶۴)

۲۴۵➤ دود غلیظ برخواسته از یک مخزن نفت آتش گرفته

بروز آتش سوزی و گردباد پس از زلزله

عموماً پس از یک زلزله آتش سوزیهایی همزمان در چندین نقطهٔ مختلف به وقوع می‌پیوندند. بنابراین این قبیل آتش سوزیها با نمونه‌های عادی آتش سوزی متفاوتند.چرا که اگر حریق در هریک از این نقاط گسترش پیدا کند و از این نقاط، آتش‌ها به یکدیگر متصل شوند، حریق بزرگی رخ خواهد داد. تحت یک شرایط معین ، جابجایی گرمایی در هوا، سبب بروز گردباد می‌شود. رخداد این پدیده خیلی رایج و معمول است. گفته می‌شود که در زلزله کانتو گردبادهایی در بیش از ۱۰ نقطه به وقوع پیوسته و به سمت محوطهٔ ساختمانهای ویران شده حمله‌ور شدند و در محلی که گروههای امداد بیش از ۳۸۰۰۰ نفر از مردم را اسکان داده بودند فاجعه عظیمی رخ می‌دهد : تقریباً تمامی افراد در آن محل کشته می‌شوند. (زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۲۴۶◄ بروز آتش سوزی و گردباد پس از زلزله

آتش سوزی پس از زلزله عظیم کانتو

این تصویر حریقی است که در نزدیکی یک مغازه به نام هیرانو- یا در منطقهٔ هیبیا پس از زلزله وحشتناک کانتو به وقوع پیوسته است.

(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۲۴۷◄آتش سوزی پس از زلزله عظیم کانتو

رخداد حریق پس از یک زلزله ، فوق‌العاده خطرناک است.

این تصویر هم از آتش سوزی منطقه هیبیا می‌باشد. مردم هنوزآرام و خونسرد به آتش نگاه می‌کنند. اما نکته‌ای که نباید از آن غافل بود آن است که ممکن است پس از زلزله حریق‌های متعددی و در نقاط مختلف به وقوع پیوندد. این نگرانی همواره وجود دارد که ممکن است انسان قبل از آنکه متوجه بشود در محاصرهٔ آتشی قرار بگیرد که مدتی قبل و در منطقه‌ای بسیار دورتر رخ داده است. شاید مراقبت زیاد هم نتیجه بخش نباشد. عده‌ای از مردم در محاصره آتش قرار گرفتند و در منطقه (نیهون باشی) جان باختند، آنهم ۱۲ ساعت پس از آنکه به منطقه کاندا آمده بودند. منطقه‌ای که در مجاورت محلی است که در عکس بالا از آنجا به آتش نگاه می‌کردند. (زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۲۴۸◄ رخداد حریق پس از یک زلزله فوق‌العاده خطرناک است.

آتش به ایستگاه یوراکاچو نزدیک می‌شود.

این آتشی است که به ایستگاه یوراکاچو(در خط یا مانوته از خط آهن کشوری) نزدیک می‌شود. به نظر نمی‌رسد که خانه‌های بسیاری ویران شده باشند. احتمالاً خسارت مستقیمی به خود سازه‌ها وارد نیامده است.
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۲۴۹◄ آتش به ایستگاه یوراکاچو نزدیک می شود.

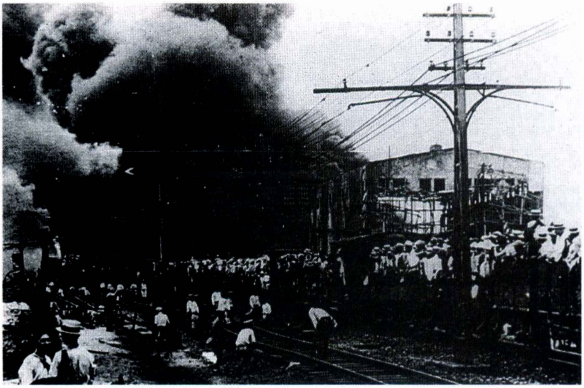
دود برخاسته از آتش سوزی عظیمی که پس از زلزله بزرگ کانتو رخ داد.

با پیوستن آتش از چندین نقطه به یکدیگر حریق عظیمی ایجاد می‌گردد که نمونهٔ آن آتش سوزی پس از زلزله کانتو می‌باشد.
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۲۵۰◄ دود برخاسته از آتش سوزی عظیمی که پس از زلزله بزرگ کانتو رخ داد.

دود غلیظ آتش و فرار با استفاده از قطار باری

در این تصویر مردم را می‌بینید که می‌خواهند به هر شکل ممکن با سوار شدن به یک قطار باری خود را از آتش‌سوزی بعد از زلزله مصون بدارند.
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)



۲۵۱◄ دود غلیظ آتش و فرار با استفاده از قطار باری

نمایی از محله «نیهون‌باشی» بعد از آتش‌سوزی ناشی از زلزله

تصویری که می‌بینید ویرانی و آواری است که بعد از حریق نیهون‌باشی بر جای مانده است.

(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۲۵۲◄ نمایی از محله نیهون‌باشی بعد از آتش سوزی ناشی از زلزله

نمایی از بندر یوکاهاما بعد از آتش سوزی ناشی از زلزله

بندر یوکوهاما به شدت ویران شد؛ اما نه فقط با زلزله بلکه افزون بر آن با حریقی که پس از زلزله روی داد. بیشتر ساختمانهایی که ویران شدند از آجر ساخته شده بودند و این باعث شد پس از زلزله کانتو دیگر به سختی بتوان خانه‌هایی را دید که در ساخت آنها از آجر استفاده شده باشد.

(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۲۵۳◄ نمایی از بندر یوکاهاما بعد از آتش سوزی ناشی از زلزله

فرار مردم به پارک ونو

تعداد زیادی از ساکنین شهر به منظور مصون ماندن از حریق بعد از زلزله کانتو در پارک «ونو» جمع شدند و لذا پارک بسیار شلوغ شد. هنگامی که آتش به آنها نزدیک شد، آن عده از مردم که در پائین تپه و در جایی که مجسمه تاکاموری-سایگو قرار داشت، در آتش قرار گرفتند و جان باختند ولی آن عده از مردم که به بالای تپه رفته بودند، سالم ماندند. در واقع آن عده بخاطر پوشیده بودن سطح پارک از گیاهان سبز سالم باقی ماندند.

(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۲۵۴◄ فرار مردم به پارک ونو

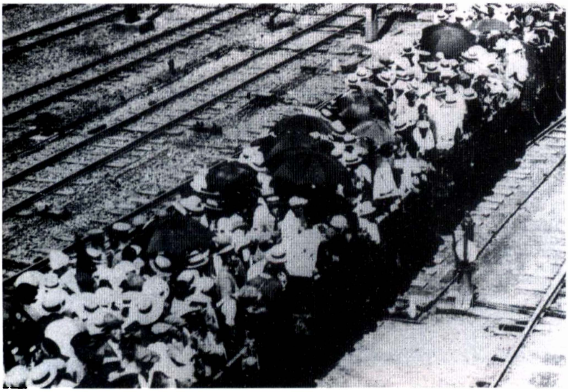
نمایی از خیابان بازار در آساکوسا

بخاطر بروز حریق، شهروندان با استفاده از قطارهای باری شهر را به سمت مناطق روستایی ترک کردند.
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۲۵۵ ◄ نمایی از خیابان بازار در آساکوسا

استفاده از قطار باری جهت فرار از شهر

این تصویری است که از ایستگاه شیناگاوا (از خط آهن ژاپن) گرفته شده است. بسیاری از مردم توکیو برای حفظ جان خود از یک قطار باری استفاده کردند.
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)



۲۵٦ ◄ استفاده از قطار باری جهت فرار از شهر

منظرهٔ جهنمی در نزدیکی محلهٔ بدنام شهر

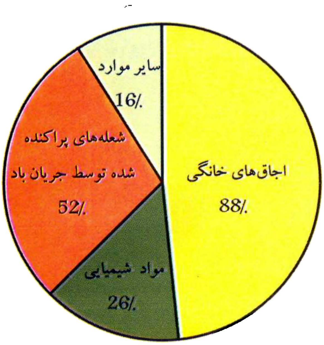
گفته می‌شود که قبلاً دریاچه‌ای به نام «بنتن - ایکه» در منطقهٔ «آساکوسا» قرار داشته است. این دریاچه را در این عکس می‌توانید مشاهده کنید. منطقهٔ معروف به «چراغ قرمز» در شمال آساکوسا قرار داشته است. صاحبان عیاش‌خانه‌ها حتی تا آخرین لحظاتی که آتش آنها را در محاصرهٔ خود می‌گیرد به زنان خود فروش اجازه فرار نمی‌دهند؛ چرا که می‌ترسیدند آنها از آن منطقه فرار کنند. و هنگامی که آنها را رها می‌کنند دیگر خیلی دیر بوده است. آنها هیچ راه فراری برای زنده ماندن نداشته‌اند، جز اینکه به درون دریاچه بپرند. چه منظره دردناکی باید بوده باشد!
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۲۵۷ ◄ منظرهٔ جهنمی در نزدیکی محلهٔ بدنام شهر

علل بروز آتش پس از زلزله بزرگ کانتو

آتش سوزیهای بعد از زلزله بزرگ کانتو بیشتر در اثر گرمازاهای خانگی مانند اجاقهای غذاپزی بوجود آمدند. با تحقیق و بررسی دربارهٔ این حریق دریافت می‌شود که در اثر جابجایی گرمایی در هوا ناگهان باد ایجاد گشته است که لحظه به لحظه بر شدت آن افزوده‌شده است. در نتیجه زبانه‌های آتش در نقاط مختلف گسترده شده و توسعه یافته است. حریق در طول رودخانهٔ «سومیدا» گسترش یافته و به سرعت به نقاط دیگر شهر هم سرایت کرده است.

(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)



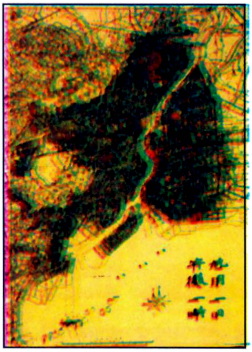
شکل۲٤- علل بروز آتش پس از زلزله بزرگ کانتو

مراحل گسترش آتش در شهر توکیو بعد از زلزله بزرگ کانتو

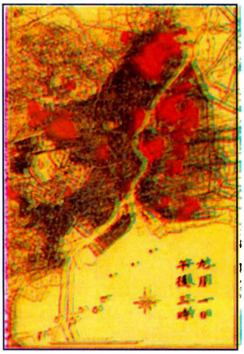
بیشتر کشتگان زلزلهٔ عظیم کانتو در اثر آتش سوزی بعد از زلزله بود. وضعیت فاجعه در شهر توکیو بدین شرح بود: بیش از نیمی از شهر در آتش سوخت و در حدود ۵۸۰۰۰ نفر از مردم شهر در اثر سوختگی شدید جان باختند و بیش از ۳۶۰۰۰۰ خانه به کلی سوختند و از بین رفتند. وقوع بیشتر حریق‌ها در حدود ۱۸ ساعت پس از زلزله بود. اما ٤٦ ساعت طول کشید تا آتش در این شهر فرونشست.

آتش سوزی پس از زلزله باعث بروز خسارات شدیدی شد؛ اما با دقت در عکسها مشاهده می‌شود که آتش سوزی از ابتدا و بلافاصله پس از زلزله شدید و بزرگ نبوده است. در واقع در صورتی که در ساعات اولیهٔ پس از زلزله و در مراحل اولیهٔ آتش سوزی، افراد به محل مناسبی هدایت می‌شدند، حریق سبب مرگ بسیاری از آنها نمی‌شد و بسیاری از خسارتها قابل پیشگیری بود.

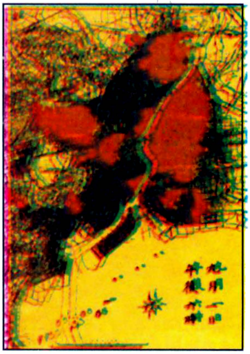
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)



• یک ساعت بعد

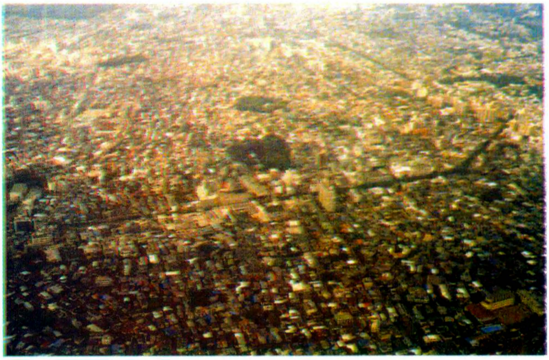


• سه ساعت بعد



• ۶ ساعت بعد

• ۱۲ ساعت بعد



۲۵۸◄ تمرکز زیاد خانه‌های چوبی در محله ستاگایا در توکیو

تمرکز زیاد خانه‌های چوبی در محله ستاگایا در توکیو

در جنگ جهانی دوم، هیچ گونه بمباران و تاخت و تازی متوجه بخش ستاگایابی توکیو نشد(به دلیل کوچکی آن) و لذا این بخش سالم باقی ماند. در زمان زلزله عظیم کانتو در سال ۱۹۲۳ راههای باریک بین کوچه ها به سختی می‌توانستند مانع عبور و انتقال آتش به مناطق مختلف شوند. هم اکنون نیز تجمع خانه‌های چوبی در مناطقی که در این عکس مشاهده می‌کنید، سبب نگرانی مسؤولین است؛ چرا که با وضعیت موجود، بروز یک حریق پس از زلزله امری بسیار محتمل می‌باشد.

اتصال سیم‌های برق، باعث بروز بسیاری از حریق‌هاست.

هنگامی که تعداد زیادی از خانه‌ها فرو می‌ریزد، مردمی که در زیر آوار محبوس می‌شوند، نیاز به کمک فوری دارند. اتصالات سیم‌های برق باعث بروز آتش می‌شود و به دلیل قطع‌بودن آب در شبکه آبرسانی، آتش‌سوزی‌ها تبدیل به یک حریق عظیم می‌شوند. برخلاف زلزله‌های متداول قدیم، ۴۰٪ حریق‌های ایجاد شده در فاجعه کوبه بخاطر الکتریسیته بوده است. در نتیجه نصب دستگاه‌های اتوماتیک قطع‌کننده برق که جریان برق را در زمان زلزله قطع می‌نمایند، بسیار ضروری می‌باشد.
(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۲۵۹◄ اتصال سیم‌های برق، باعث بروز بسیاری از حریق‌هاست.

مقاومت خاک بستر عامل تفاوت خرابی

دو ساختمان مشابه هم در محوطه یک کارخانه قرار دارند. ساختمانی را که پس از زلزله سالم باقی مانده است و در گوشهٔ تصویر مشاهده می‌کنید بر روی یک ترانشه بنا گردیده و خانه دیگری که در اثر حریق پس از زلزله به کلی ویران شده است، بر روی یک خاکریز بنا نهاده شده بود. می‌بینید که تا چه اندازه میزان خسات وارده به یک ساختمان به وضعیت محلی که فونداسیون بر آن قرار گرفته‌است، بستگی دارد.
(زلزله جزیرهٔ لازون، فیلیپین، ۱۹۹۰)

۲۶۰◄ مقاوت خاک بستر عامل تفاوت خرابی

عدم وجود راه دسترسی برای خودروهای آتش‌نشانی

این تصویر بخشی از شهر کوبه را نشان‌می‌دهد که در اثر لرزه با شدت ۷ در مقیاس JMA به‌شدت آسیب دیده است. مشاهده می‌کنید که خودروهای کمک‌رسانی امکان عبور از این خیابان باریک را ندارند. تیرهای برق خم شده، قطعات آوار پخش شده و ... مانع از امکان حضور به موقع خودروهای کمک‌رسانی می‌شوند.
(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۲۶۱◄ عدم وجود راه دسترسی برای خودروهای آتش‌نشانی

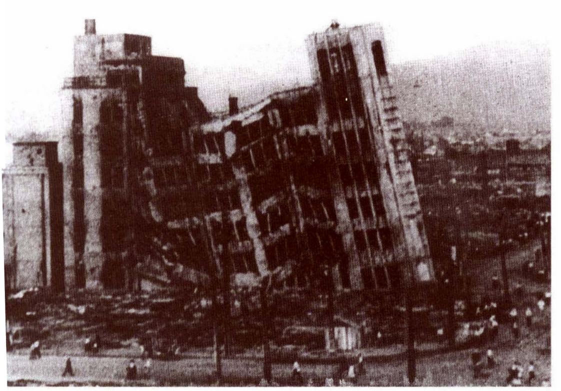
تیر و ستون در داخل یک ساختمان سوخته

اینها تیر و ستونهای داخل ساختمان یک کارخانهٔ سوخته است. به قسمت فوقانی ستون و یا به محل اتصال بالای ستون با تیر توجه نمائید. اگر اتصال بین تیر و ستون به شکل قوی‌تری طراحی شده بود، این چنین خرابی و خسارتی به وقوع نمی‌پیوست. هر دو جزء ساختمان در این محل باید به شدت دچار ترک خوردگی شده باشند و می‌بینید که در مجاورت محل اتصال، ترکهای زیادی پدیدار گشته است.
(زلزله جزیره لازون، فیلیپین، ۱۹۹۰)

۲۶۲◄ تیر و ستون در داخل یک ساختمان سوخته

فرو ریختن سازه‌ای که دراثر حملهٔ هوائی ویران شده بود.

یک ساختمان آپارتمانی در آتش سوخت و همزمان با حریق دچار تغییر شکل شدیدی شد که خسارت وارد به آن را در این شکل می‌بینید. گفته می‌شود که علت ویرانی ساختمان، آتش سوزی در اثر حمله هوایی درطول جنگ جهانی دوم بوده است. در نتیجه مؤلفه‌ها و اجزاء مختلف ساختمان به شدت دچار آسیب دیدگی شده‌اند.
(زلزله فوکویی-کن ،ژاپن،۱۹۴۸)

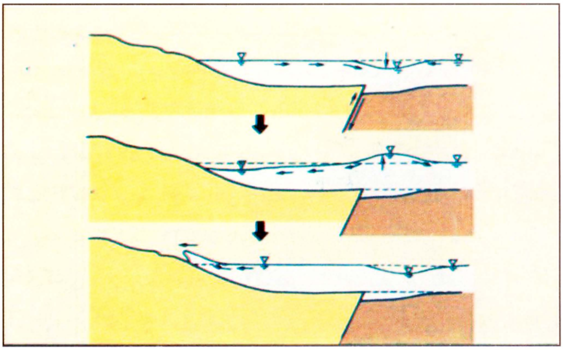


۲۶۳◄ فرو ریختن سازه‌ای که دراثر حملهٔ هوائی ویران شده بود

■ سونامی (Tsunami)

سونامی چگونه رخ می دهد؟

هنگامی که بستر زمین زیر دریا، در امتداد لبهٔ ساحل دراثر حرکت یک گسل معکوس می‌لغزد، «سونامی» رخ می‌دهد که موارد متعددی از آن در سواحل اقیانوس آرام و در اطراف ژاپن اتفاق می‌افتد. برای تجسم بهتر به شکل ۲۵ توجه نمائید. کف دریا ناگهان فرومی‌رود و سطح زمین به آرامی بالا می‌آید و در اثر این حرکات سونامی به وقوع می‌پیوندد. آبهای اطراف قسمتهای تازه فرورفته به سمت گودی حرکت می‌کنند و باعث می‌شوند تا قسمتهایی از کف دریا هویدا گردد. در نتیجه یک ضربهٔ آبی در محل فرو رفتگی ایجاد می‌گردد. از آنجایی که حجم زیادی از آب در محل فرورفتگی متمرکز می‌شود لذا سطح آب در محل فرورفتگی بلندتر از سطح مناطق اطراف می‌شود. این حجم بالای آب متمرکز شده از روی محل فرو رفتگی شروع به حرکت می‌کند و به سمت ساحل می‌آید. در نتیجه یک ضربهٔ آبی شدید به ساحل وارد می‌شود که به آن سونامی گفته می‌شود.



شکل ۲۵

از آنجایی که سونامی طی مراحل بالا به وقوع می‌پیوندد، لذا بروز آن بلافاصله پس از وقوع زلزله نیست و ۱۰ الی ۱۵ دقیقه زمان صرف می‌شود تا سونامی به سواحل دریا برسد. سونامی در نزدیکی‌های ساحل رخ می‌دهد و در مسیر خود همه چیز را ویران می‌کند و سپس فروکش کرده و بازگشت می‌نماید و باعث می‌شود که اشیاء به دریا کشیده شوند. این حجم آب پس از بازگشت، مجدداً در محل فرو رفتگی همان محلی که سطح دریا در آن گود شده است، متمرکز می‌گردد. این مراحل طی دفعاتی تکرار می‌گردند و سونامی مجدداً به سمت ساحل می‌آید. مراحل دوم و سوم بازگشت امواج ۱۵الی ۳۰ دقیقه بعد از بازگشت مرحلهٔ اول سونامی رخ می‌دهند. واضح است که توضیحات بالا به گودال ایجاد شده در کف دریا بستگی دارد. در اطراف ژاپن موارد نادری هم وجود دارد که در آنها سطح دریا بالا آمده است که به آن «گسل نرمال» گفته می‌شود. در این گونه موارد، سونامی به شکل ناگهانی و در حدود ۵ دقیقه پس از زلزله رخ می‌دهد، و در این قبیل حالات، دیگر آب بازگشت نمی‌کند.

هشدار در برابر سونامی:

فقط زلزله‌هایی که در دریا رخ می‌دهند، سبب بروز سونامی می‌شوند؛ در نتیجه بروز سونامی قابل پیشگوئی و پیش‌بینی است. این امر با بررسی اینکه کانون زلزله در دریا واقع هست یا نیست ممکن می‌باشد. در صورتی که کانون زلزله‌ای در کف دریا باشد احتمال رخداد سونامی وجود دارد. اگر امکان تخمین محل کانون زلزله و بزرگی آن ممکن باشد، شدت و بزرگی سونامی هم امری قابل تخمین خواهد بود.

چنانچه امکان تخمین کانون در چند دقیقه ممکن باشد، امکان هشدار به ساکنین منطقه‌ای که در معرض خطر سونامی‌اند، وجود دارد. البته در این زمینه کارهایی انجام شده است اما کارهای زیاد دیگری باید انجام گیرد و با فراهم آوردن تمهیدات لازم برای هشدار به موقع، در آینده جان افراد بسیاری از این خطر در امان خواهد بود.

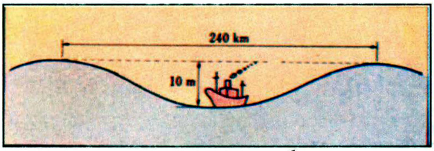
سرعت انتقال سونامی

سرعتی که سونامی با آن منتقل می‌شود با معادله زیربیان می‌شود:

$v = \sqrt{gh}$ که در این رابطه:

g : شتاب جاذبه = (m/s^2) ۹/۸

h : عمق آب (بر حسب m)



شکل۲۶- دامنه سونامی

معادلهٔ بالا نشان می‌دهد که هرچه عمق دریا بیشتر باشد، سرعت انتقال بیشتر می گردد. برای مثال به ازاء عمق ۱۰ متر سرعتی در حدود ۱۰ m/s خواهیم داشت و برای عمق ۱۰۰۰ متر سرعت ۱۰۰m/s را خواهیم داشت. از آنجایی که عمق میانگین در اقیانوس آرام ٤۰۰۰ الی ۵۰۰۰ متر می‌باشد، متوسط سرعت انتقال بیش از ۲۰۰m/s یا ۷۲۰km/h می‌باشد. (در حدود سرعت یک هواپیمای جت) با این فرض که پریود سونامی (دربارهٔ پریود و دورهٔ آن قبلاً توضیح داده شد.) در حدود ۲۰ دقیقه باشد، طول یک موج (فاصله بین پیک تا پیک) یک سونامی درحدود حرکت ۲۰ دقیقه می‌شود و مسافتی در حدود ۲٤۰km را به خود اختصاص می‌دهد. حتی برای یک سونامی که دارای دامنه ۱۰ متر باشد (شبیه آنچه که در شکل ۲۶ نشان داده شده است.) میزان ارتعاش محسوس در یک کشتی خیلی ناچیز خواهد بود به نحوی که فردی که در یک کشتی و بر روی امواج در حال حرکت است هرگز این امر را احساس نخواهد کرد. به طور کلی، سونامی بر کشتی‌ای که در دریا در حال حرکت باشد اثری نمی‌گذارد و به همین دلیل است که کشتی‌ها در بندرگاهها سعی می کنند که تا حد امکان از اسکله دور بایستند چرا که هدایت کنندگان کشتی‌ها می‌دانند که ساحل در اثر بروز یک سونامی ناگهانی به سختی دچار آسیب دیدگی می‌شود.

سونامی مستهلک نمی‌شود

همچنان که در بخشهای قبل توضیح داده شد، سونامی بیش از ۲٤۰ کیلومتررا در حرکت یک موج طی می کند (در حدود ۲۰ دقیقه). از آنجا که فرض می‌شود انرژی حرکت موج دریک سیکل، خیلی تغییر نمی‌کند؛ در نتیجه پریود ارتعاشات سونامی که خیلی هم زیاد است، سریع مستهلک نمی‌شود. برای مثال، زلزله سال ۱۹٦۰ شیلی باعث یک سونامی شد که به سوی قسمت‌های شمال شرقی ژاپن به حرکت درآمد(توکوها). سونامی با طول ۵ متر مسافتی قریب به ۲۰۰۰۰ کیلومتر را در مدت ۲۲ ساعت پس از زلزله طی کرد و به سواحل ژاپن رسید در حالی که خود زلزله به خاطر فرکانس بالا و میرایی‌اش اصلاً در آن منطقه احساس نشد.

۲٦٤< یک نمونه از خسارت ناشی از سونامی

یک نمونه از خسارت ناشی از سونامی

این یک نمونهٔ نسبتاً متوسط از خسارات ناشی از سونامی است. کشتی بر روی اسکله پرتاب شده و بدون این که آسیب دیدگی شدیدی ببیند در همان جا باقی ماند.
(زلزله نیهون‌کای - چوبو، ژاپن، ۱۹۸۳)

۲٦٥< خسارت وارد به یک ساختمان در اثر سونامی

خسارت وارد به یک ساختمان در اثر سونامی

سونامی به انواع گوناگونی تقسیم می‌شود، که این تقسیم بندیها عموما بر اساس میزان سرعت و انرژی سونامی صورت می پذیرد. در رابطه با انرژی سونامی شواهد متعددی وجود دارد که براساس آنها می‌توان گفت که در هنگام بروز حادثه، انرژی خیلی زیادی استفاده می‌شود. به حفرهٔ بزرگ ایجاد شده بر خانه توجه کنید.
(زلزله نیهون کای- چوبو، ژاپن، ۱۹۸۳)

زلزله + سونامی + حریق

پنج دقیقه بعد از زلزله، یک سونامی مرگبار با امواجی که از ۷ تا ۲۰ متر ارتفاع داشتند به منطقه انایی واقع در قسمت جنوبی جزیره کوشیرو حمله‌ور شد. با وجود اینکه هشدار خطر حمله سونامی بعد از زلزله در محل پخش شده بود اما به دلیل آنکه اعلام این هشدار در حدود ۵ دقیقه پس از زلزله انجام شد، دیگر هیچ زمانی برای فرار مردم باقی نماند. در نتیجه ۲۳۱ نفر از مردم در این منطقه کشته شدند. همچنین برای اطفاء حریق با مشکل بزرگی روبرو بودند و آن ریسک حمله‌های دوم و سوم سونامی بود. لذا آتش‌نشانان اقدام به خراب نمودن خانه‌هایی نمودند که در همسایگی آنها حریق وجود داشت. همچنان که در تصویر می‌بینید هیچ آثاری از خانه‌های نوک جزیره باقی نماند و تنها دود برخواسته از آتش دیده می‌شود.
(زلزله هوکایدو ـ ناسیوکی، ژاپن، ۱۹۹۳)

۲٦٦< زلزله + سونامی + حریق

لحظهٔ برخورد سونامی با ساحل

امواج جذر و مدی به سمت ساحل به حرکت درآمدند و سبب بروز خساراتی در ساحل هاشیموری از استان آکیتا شدند.
(زلزله نیهون کای- چوبو، ژاپن، ۱۹۸۳)

۲۶۷◄ لحظهٔ برخورد سونامی با ساحل

چوب برروی آب شناور می‌شود.

تمامی خانه‌های واقع در منطقه انایی از جزیره اکاشیرو با یک سونامی که ارتفاعی در حدود ٤ متر داشت، شسته شدند. این منطقه هم‌اکنون شبیه به صحرا شده است و خیلی مشکل است باور کنیم که قبلاً صدها خانه در این منطقه وجود داشته است. خانه‌های چوبی به شدت در برابر سونامی آسیب‌پذیر هستند و دلیل امر، این خاصیت فیزیکی است که چوب برروی آب شناور می‌شود. تنها خانه‌ای که برجای مانده است یک خانهٔ بتن مسلح است که نمای نسبتاً مناسبی هم از آن در عکس شماره ۲۷۱ ارائه شده است.
(زلزله هوکایدو ـ ناسیوکی، ژاپن، ۱۹۹۳)

۲۶۸◄ چوب برروی آب شناور می‌شود.

خطر؛ حتی در درون اتومبیل

بسیاری از خارجیان از شدت زیاد نیروی یک سونامی بی‌خبرند. شنیده شده‌است که بعضی از مردم براین باورندکه ماندن دریک اتومبیل دربسته می‌تواند آنها را از خطر ناشی از سونامی در امان بدارد. این عکس بخوبی نشان می‌دهد که ماندن در اتومبیل به هیچ وجه ایمنی لازم را تأمین نمی‌کند.

(زلزله نیهون کای-چوبو، ژاپن، ۱۹۸۳)

۲۶۹< خطر؛ حتی در درون اتومبیل

ماشین خوش شانس!

در واقع یک معجزه رخ داده که این اتومبیل توانسته است از خطر امواج آب بدین شکل سالم بماند. به وضوح دیده می‌شود که اتومبیل پس از غوطه‌ور شدن در آب به شکل عجیبی یک فرود مناسب را بر ساحل داشته است.

(زلزله نیهون کای-چوبو، ژاپن، ۱۹۸۳)

۲۷۰< ماشین خوش شانس!

خانه‌های بتن مسلح در برابر سونامی و حریق مقاومند.

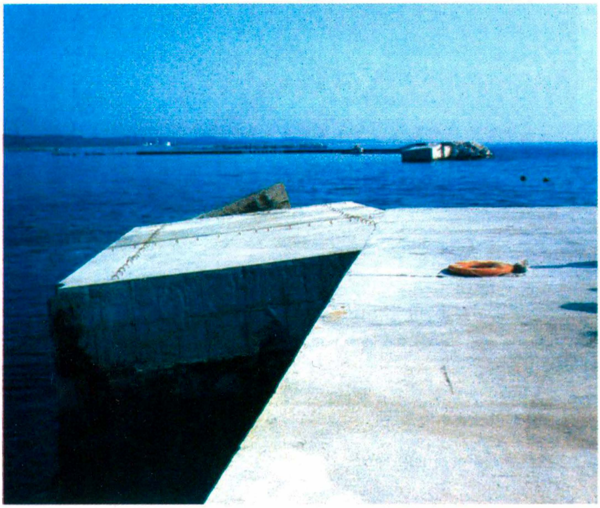
چنان که در توضیحات عکس ۲۶۸ گفته شد در اثر سونامی، خانه‌های چوبی اطراف ساحل به شدت آسیب می‌بینند. در این تصویر مشاهده می‌نمایید که در منطقه انایی خانه‌هایی که با بتن مسلح ساخته شده بودند در برابر سونامی و حریق‌های پس از آن بخوبی مقاومت نمودند.

(زلزله هوکایدو ـ ناسیوکی، ژاپن، ۱۹۹۳)

۲۷۱< خانه‌های بتن مسلح در برابر سونامی و حریق مقاومند.

نیروی عظیم سونامی

بلوکهای بتنی با وزنی بیش از ۲۰۰۰ تُن در اثر شدت ضربات سونامی در محوطهٔ بندر در دست ساخت نوشیرو دچار آسیب شدند. بلوکی را که در پیش زمینهٔ این عکس می‌بینید، فقط جابجا و دچار کج‌شدگی گردیده است؛ اما برخی بلوکها در قسمت‌های دیگر کاملاً به زیر آب فرو رفتند. در اثر این سانحه چندین کارگر کشته شدند.
(زلزله نیهون کای- چوبو، ژاپن، ۱۹۸۳)



۲۷۲ نیروی عظیم سونامی

خانه‌های آجری در برابر تکان‌های لرزه‌ای آسیب‌پذیر می‌باشند و خانه‌های چوبی در برابر سونامی.

پس از بروز این زلزله، یک سونامی با ارتفاع ٤ تا ٥ متر به این جزیره کوچک حمله‌ور شد و تمامی خانه‌های چوبی این منطقه را که بالغ بر صدها خانه بود با خود شست و از بین برد. تنها سقف مناره مانند یک مسجد سالم برجای ماند. پس از زلزله ۹۰۰ نفر در این جزیره قربانی شدند که بیش از نیمی از این افراد در اثر سونامی جان باختند و این به خوبی بیانگر میزان خسارات وارد به جزیره توسط سونامی می‌باشد.

نکته قابل توجه این است که ساکنین این جزیره هیچ‌گونه ذهنیتی نسبت به پدیده سونامی بعد از یک زلزله بزرگ، نداشتند و این نشان‌دهندهٔ لزوم ارائه اطلاعات پیشگیرانه از بلایا به مردم یک منطقه می‌باشد.
(زلزلهٔ جزیره فلورس، اندونزی، ۱۹۹۲)

۲۷۳ خانه‌های آجری در برابر تکان‌های لرزه‌ای آسیب‌پذیر می‌باشند و خانه‌های چوبی در برابر سونامی.

ساحل شونان پس از آنکه مورد حمله سونامی واقع شد.

ساحل شونان دراثر برخورد یک سونامی با آن به شدت ویران شد. درتصویر یک قایق را که تا ساحل شسته شده است، شاهد هستید.

(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)

۲۷٤ ساحل شونان پس از آنکه مورد حمله سونامی واقع شد.

فصل هفتم

خسارات نوین ناشی از زلزله

در اثر توسعهٔ اقتصادی سالیان گذشته، خصوصاً ۲۰ سال اخیر، کشور ژاپن به طور چشمگیری تغییر نموده است. تمرکز جمعیت و اطلاعات در شهرهای بزرگ به طور محسوسی پیشرفت داشته است. امکانات جدیدی که تاکنون در مورد یک زلزلهٔ قوی تجربه شده‌اند، در حال رشد و توسعه می‌باشند: آسمان خراشها، ساختمانهای با سیستم‌های هوشیار، پلهای معلق عظیم، بزرگراههای زیرزمینی، مراکز خرید زیرزمینی ، انواع و اقسام کامپیوترها و ... . در نتیجهٔ این پیشرفتها وضعیت و آثار ناشی از خرابی‌های زلزله هم تغییراتی نموده است.

■ مقدمه ای بر توسعه شهرها و افزایش خسارات اقتصادی

جالب است بدانیم که اکثریت مردم جهان معتقدند هرچه زمان پیش می‌رود زلزله های بیشتر و قویتری روی می‌دهد. این عقیده گرچه از نظر فیزیکی و توجیه وقوع زلزله ها ممکن است منطق درستی نداشته باشد؛ لیکن باتوجه به سه مطلب زیر بطور منطقی درست می‌باشد:

الف- ظهور شهرها و شهرکهای جدید در مناطق مختلف، که این امر باعث می‌شود تا زلزله هایی که قبلاً در بیابان و در مناطق عاری از سکنه روی میدادند، این بار پس از دورهٔ بازگشت خود در منطقه ای روی دهند که تأسیسات مختلفی در آن درست شده و جمع زیادی در آن زندگی می کنند.

ب- گسترش جمعیت و تأسیسات شهری که خود عامل دیگر افزایش خسارات و تلفات میباشد. هرچه شهرها مدرن تر شوند، خسارات بیشتری از نظر ارزش بوجود می آید. مثلاً شهر مدرنی مانند کوبه ژاپن و شهرهای حومه آن بواسطه خسارت تأسیسات پیشرفته آنها متحمل هزینه بسیار سنگینی بالغ بر ۱۵۰ میلیارد دلار امریکا گردید.

ج- پیشرفت دانش بشر در زمینه لرزه شناسی قادرست لرزه های زیادی در اقصی نقاط جهان ثبت نماید، در حالیکه در قدیم خیلی از زلزله‌ها ثبت نمی شد. لذا بنظر می‌رسد که زلزله ها افزایش یافته اند.

تقسیم بندی خسارات اقتصادی

پس از وقوع زلزله، خسارات اقتصادی را بطور کلی بهتر است به دو قسمت تقسیم نمود:

۱- خسارات مستقیم

اینگونه خسارات بطور عمومی عبارتند از خسارات ناشی از خراب شدن ساختمانها و تأسیسات، جاده ها، پلها، راه آهن، لوله های آب و گاز، خطوط برق و مخابرات و تأسیسات آنها. خسارت مستقیم تقریباً هزینه آن‌چیزی است که در اثر خرابی از دست رفته است و از سرویس خارج می گردد. این مثل آن است که بطور مستقیم پولی بایستی برای برگشت مجدد آنها هزینه نمود.

۲- خسارت غیرمستقیم

وقتی تأسیسات و ساختمانها آسیب ببینند، نمی‌توانند مورد بهره برداری قرار گیرند. عدم امکان بهره برداری از آنچه که در زلزله آسیب‌دیده است، باعث می گردد تا منافعی که از آنها بدست می آمده است، قطع گردد. در واقع در خسارتهای غیرمستقیم عایدی ناشی از بهره برداری قطع می گردد که می‌تواند رقم بسیار قابل ملاحظه ای و گاهی اوقات برابر یا حتی بیشتر از خسارات مستقیم شود. معطل ماندن سرمایه گذاریها، فرار سرمایه ها از مناطق آسیب دیده، بیکاریها، ورشکستگیها و نظایر آنها از جمله مهمترین مصادیق خسارات غیرمستقیم هستند.

■ نمونه ای از خسارات اقتصادی در زلزله های اخیر

خسارات اقتصادی و آسیب‌های وابسته

تاکنون، تمامی کوشش‌ها مصروف کاهش دادن تلفات جانی تا حداقل میزان ممکن، در یک زلزله بوده است. درواقع این امر هنوز هم مسأله اساسی محسوب می‌شود و وضعیت کنونی توکیو، که شرایط پیچیده‌ای دارد از عوامل آن است. حجم بالایی از پول و اطلاعات در شهر توکیو و مناطق اطراف، صرف تهیه و تنظیم بهترین مکانیسم ممکن می‌شود. مکانیسمی که در آن نه تنها حداقل تلفات جانی رخ دهد، بلکه میزان آسیبهای اقتصادی نیز به حداقل ممکن کاهش یابد.

خسارات ناشی از عدم بهره‌برداری

ماشینهایی که از آنها جهت تنظیم و ادارهٔ مکانیسم‌های مذکور استفاده می‌شود، به راحتی خراب می‌شوند و تعمیرات مجدد آنها به راحتی امکان پذیر نیست. در مورد وسایل الکتریکی که اخیراً ساخته می‌شود، اگر یک قسمت وسیله خراب شود، بجای تعویض کل وسیله می‌توان آن قسمت را با یک قسمت سالم تعویض و جابجا نمود. اما در مورد شهرها چنین نیست و نمی‌توان قسمتهای مختلف شهری را به راحتی عوض نمود. یکی از مشکلاتی که در مورد خسارات ناشی از زلزله وجود دارد، جابجایی گسل‌ها و آثار آن برای یک شهر می‌باشد. در این باره می‌توان گفت که حتی اگر جان افراد به خطر نیفتد و کسی هم کشته نشود، اما آثار و خسارات وابسته به آن در شهری مانند توکیو که دارای جایگاه مهمی از نظر موقعیت کلیدی آن در جهان می‌باشد، (از نظر ایجاد مشکلات ترافیکی و یا ارتباطاتی) در حدی است که منجر به فلج شدن امور شهری می گردد.

خسارات وارده به سیستم‌های کامپیوتری منجر به فلج شدن امور می‌گردد.

در شهرهای توسعه یافته و پیشرفته که بیشتر فعالیتها و امور شهری به ماشینهای دقیق مثل کامپیوتر وابسته است، همواره امکان خرابی و آسیب دیدگی این قبیل ماشینها وجود دارد که جهت بهبود بخشی و بر طرف نمودن مشکلات آنها نیاز به مقادیر سرسام‌آوری پول و هزینه می‌باشد. برای مثال انواع مختلف وسایل الکترونیکی که از کامپیوترهای کوچک شخصی تا ابرکامپیوترها را شامل می‌شوند، نقش به سزایی در راحت تر نمودن و کیفییت بخشیدن به یک زندگی شهری دارا می‌باشند؛ این ماشینها در مواقع بروز زلزله فوق‌العاده آسیب‌پذیر می‌باشند و سریعاً خراب می‌شوند. هارددیسکهایی که از آنها برای ذخیره اطلاعات استفاده می‌شود در برابر لرزش و ارتعاش آسیب پذیرند به نحوی که در اثر زلزله‌های کوچک به آسانی می‌شکنند.ساختن کامپیوترهایی که از لحاظ مقاومت در برابر زلزله مانند سازه‌های مهندسی عمران باشند و چندین دهه عمر کنند، برای سازندگان آنها غیر ممکن است. علت این امر هزینه‌های اضافی است که برای تأمین نگهداری و حفاظت از آنها در برابر زلزله احتیاج است. چرا که در زمان عمر محتمل یک کامپیوتر که چند سال بیش نیست، خیلی به ندرت احتمال وقوع یک زلزله می‌باشد. اما ترس از فلج شدن سیستمهای اداره شهری در اثر از بین رفتن و آسیب دیدگی کامپیوترها که هم اکنون بخش اعظم کنترل شهرها را در دست دارند، چیزی است که دغدغهٔ خاطر محققین و پژوهشگران می‌باشد.

خسارات اقتصادی

حتی اگر زمانی برسد که قادر باشیم زمان وقوع زلزله را پیش بینی نماییم، آسیب‌های فیزیکی امری غیر قابل اجتناب است. با وجود اینکه سازه‌های مهندسی در ژاپن به ندرت دچار فروریختگی می‌شوند ؛ اما در مواقع بروز یک زلزله بزرگ خسارات بسیاری در اثر پیدایش ترکها و شکستگیها در لوازم خانگی ایجاد می‌گردد. به دلیل تمرکز بالای جمعیت دریک شهر تعداد آسیب‌های معمولی ممکن است به هزاران برسد. همچنین هزینه‌ها وخسارات اقتصادی ناشی از تعمیر ساختمانها و یا وسایل آسیب دیده ممکن است بسیار زیاد گردد. در ابرشهرهایی همچون توکیو و تهران مجموعه‌های نفیس و گرانقیمت و موزه‌های زیادی از اشیاء با ارزش وجود دارد که احتمال آسیب دیدگی آنها هم وجود دارد.

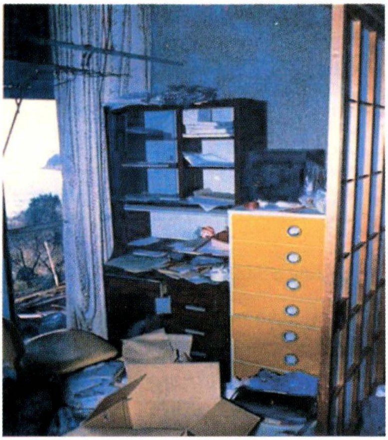
پیشتر، ژاپنیها این تصور را داشتند که خسارات اقتصادی هر قدر هم که بزرگ شد در صورتی که تلفات جانی در پی نداشته باشند و افراد بتوانند زنده بمانند، قابل تحمل و قبول هستند. همچنین در گذشته نگرش ساده‌ای نسبت به بازسازی وجود داشت. اما از آنجا که هم‌اکنون ژاپن یک کشور صنعتی محسوب می‌شود ، میزان خسارات اقتصادی ناشی از زلزله هم بسیار مهم می باشند. زلزله‌ای که خسارتی در حدود ۲۰۰ میلیارد دلار در پی داشته (۲٦ تریلیون ین) بسیار جدی بوده و می‌توانست کشور ژاپن را در شرایطی قرار دهد که دیگر نتواند پذیرای سرمایه گذاریهای خارجی باشد و باعث مشکل سرمایه گذاریهای این کشور در خارج گردد. اگر این اتفاق رخ می‌داد، بی‌شک اثرات قابل توجهی بر بازارهای مالی کشورهای دیگر هم اعمال می‌گردید. لذا هم اکنون در مطالعات محققین، کنترل خسارات اقتصادی نیز باید کاملا لحاظ گشته و تنها به کنترل تلفات جانی بسنده نشود.

براستی آیا ۲٦ تریلیون ین حجم هنگفتی از سرمایه‌های کشور را شامل نمی‌شود؟

در حال حاضر، بیش از ۳۰ میلیون نفر از مردم در منطقهٔ جنوب کانتو در کنار یکدیگر زندگی می‌کنند. فرض کنید که این منطقه در اثر یک زلزلهٔ بزرگ ویران گردد. با این فرض که سرانهٔ خسارات برای هر شهروند یک میلیون ین در نظر گرفته شود، میزان خسارت کلی رقمی بالغ بر ۳۰ تریلیون ین را شامل می‌گردد. این میزان از خسارات که خوشبینانه فرض شده است ، هم شامل خسارات خصوصی و هم خسارات اجتماعی می‌باشد. در واقع تمرکز ثروت، تنها در یک منطقه، می‌تواند باعث وارد آمدن خسارات اقتصادی شدیدی به هنگام بروز زلزله گردد. این امر می‌تواند اثرات مهم و قابل توجهی بر کشور ژاپن، که به عنوان یکی از کشورهای مطرح جهان می‌باشد، داشته باشد. وضعیت و شرایط فعلی حتماً باید مورد بررسی و دقت نظر قرار گیرد.

آسیب دیدگی وسایل خانه

دیده می‌شود که خود ساختمان آسیب ندیده و سالم باقی مانده است، اما وسایل مختلف اتاق در اثر شدت زمین لرزه به اطراف پرتاپ شده‌اند.
(زلزله ایزو-اُشیما- کینکای، ژاپن، ۱۹۷۸)



۲۷۵◄ آسیب دیدگی وسایل خانه

۲۷۶◄ جابجا شدن پیانو

جابجا شدن پیانو

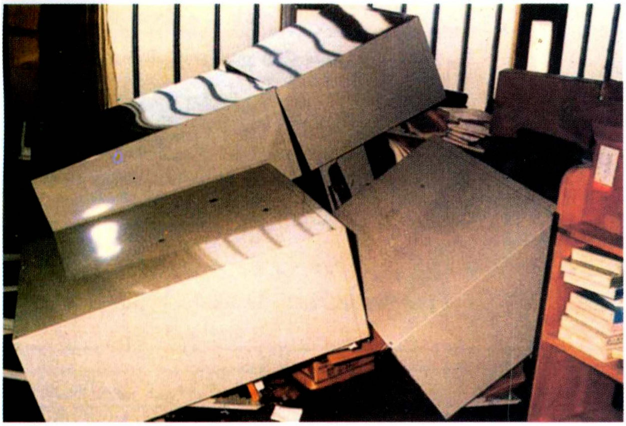
پیانو، بدین شکل در اتاق جابجا شد، هر چند که به دلیل وزن سنگینش پا برجا مانده و دچار شکستگی نشده‌است.
(زلزله ایزو-اُشیما- کینکای، ژاپن، ۱۹۷۸)

پرتاب شدن کتابهای کتابخانه

در اثر این زلزله هیچ آسیب دیدگی جدی در ساختمان‌ها و یا سازه‌ها، ایجاد نگشت و حداکثر آسیب دیدگی پیدایش ترکهایی در بعضی از دیوارها و یا سقوط تابلوهای بعضی از مغازه‌ها بود. لیکن مبلمان منازل و اسباب و وسایل داخل منازل به شدت آسیب دیدند.

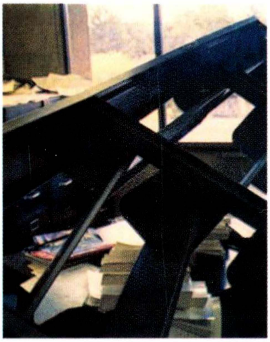
در این تصویر مشاهده می‌کنید که کتابها به تمام نقاط کتابخانه پرتاب شده‌اند. البته قفسه‌های کتابخانه دچار واژگونی نشده‌اند که دلیل آن پیچ شدن پشت قفسه‌ها به یکدیگر می‌باشد.
(زلزله اوراگا-اکی، ژاپن، ۱۹۸۲)

۲۷۷◄ پرتاب شدن کتابهای کتابخانه



واژگونی یک قفسه کتاب

قفسه‌های کتاب در یک کتابخانه که تدابیر مقابله با زلزله برای آن دیده نشده‌است اغلب واژگون می‌گردند.
(زلزله اوراگا-اکی، ژاپن، ۱۹۸۲)



ضعف اتصال بین اسباب منزل و دیوار سبب واژگونی آنها می‌شود.

این قفسه‌های کتاب که در یک سالن مطالعه در دانشگاه استانفورد قرار دارند، در اثر زلزله در وضعیت خطرناکی قرارگرفتند. باوجود آنکه پشت قفسه‌ها به دیوار پیچ شده بود اما پیچ‌ها در اثر کمبود مقاومت از دیوار خارج شدند. در این ساختمان هیچ پنجره‌ای نشکست و تنها ترکهای معدودی در پلّه‌ها مشاهده شدند.
(زلزله لوماپریتا، آمریکا، ۱۹۸۹)

۲۸۰◄ سقوط دیوارهای بتنی بر روی اتومبیل‌ها

سقوط دیوارهای بتنی بر روی اتومبیل‌ها

تعدادی از دالهای بتنی از یک ساختمان پیش ساخته جدا شدند و سقوط کردند. گفته می‌شود که دلیل آن عدم قرارگرفتن بلوکها در جای مناسب بوده است. این حادثه باعث شد که توجه زیادی به نحوه نصب اجزاء ساختمانهای پیش ساخته معطوف شود و پس از آن دیگر از این قبیل حوادث اتفاق نیفتاد.
(زلزله میاگی -کن -اکی، ژاپن، ۱۹۷۸)

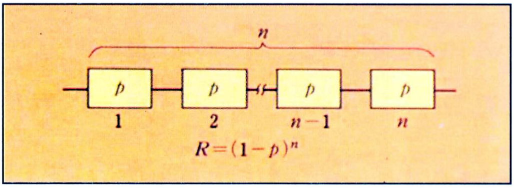
■ اختلال در عملکرد شریانهای حیاتی

چرا شریانهای حیاتی برای بروز زلزله مستعد می‌باشند؟

مهمترین امکاناتی که ضروریات زندگی روزمرهٔ مردم را تأمین می‌کنند، همانند انرژی برق، گاز، سیستم‌های آبرسانی و جمع‌آوری فاضلاب، ترافیک، سیستم‌های ارتباطی و... را «شریانهای حیاتی» می‌گویند. با وجودی که این موارد پس از بروز زلزله برای حفظ جان مردم فوق‌العاده مهم‌اند، اما در اثر خسارات ناشی از زلزله به آسانی دچار خرابی و ناکارآمدی می‌شوند وتوان عملکرد مناسب را نخواهند داشت. برای مثال نیروی برق را در نظر می‌گیریم: تهیه و تولید نیروی برق شامل مراحل مختلف و متعددی می‌باشد. همانند مراحل تولید نیرو، انتقال آن، استفاده از ترانسفورماتورها، توزیع و... که تمامی این مراحل باید انجام شود تا برق به دست مشترکین برسد. درصورتی که حتی یکی از مراحل تولید آسیب ببیند، دیگر سرویس‌دهی برای کل سیستم ناممکن می‌گردد.

فرض کنید، « n » شماره تأسیساتی باشد که به صورت سری به یکدیگر متصل می‌باشند و احتمال بروز اشکال در آنها «p» می‌باشد، در نتیجه درجه ایمنی کلی قابل محاسبه است. این رقم برا ی هریک از تأسیسات «(1-P)» می‌باشد. تمامی تأسیسات باید سالم باقی بمانند تا ایمنی کل سیستم فراهم گردد، در نتیجه درجه ایمنی کلی از ضرب مقادیر ایمنی هریک از تأسیسات سیستم به دست می‌آید.($(1-p)^n$)

هنگامی که تعداد تأسیسات اندک است، درجه ایمنی کلی چندان افت نمی‌کند، اما هنگامی که تعداد آنها به حدود عدد ۱۰۰ یا ۱۰۰۰ افزایش می‌یابد درجه ایمنی کل سیستم کاهش یافته و به‌راحتی خرابی و ناکارآمدی در سیستم پدید می‌آید. (شکل ۲۷)



شکل۲۷- اثر افزایش تعداد تأسیسات در کاهش درجه ایمنی

برای مثال شبکه لوله‌های آبرسانی شهری را در نظر بگیرید که در زیرزمین قرار دارند. معمولاً لوله‌های آب در محل اتصالات دچار شکستگی می‌شوند. از آنجایی که به طور میانگین به ازاء هر ٤ متر طول لوله یک اتصال وجود دارد؛ در نتیجه به ازاء یک کیلومتر طول لوله در حدود ۲۵۰ اتصال وجود خواهد داشت. فرض کنید که تنها یک درصد از اتصالات در طول زلزله دچار شکستگی شوند. (که البته این مقیاس از آسیب یعنی ۱/۱۰۰= ۰/۰۱ برای یک ساختمان عدد خیلی ناچیزی است.) در نتیجه ضرب اطمینان هر اتصال برابر خواهد شد با ۰/۹۹=(۰/۰۱-۱) و ضریب اطمینان کل سیستم با حدود ۲۵۰ اتصال برابر می‌شود با ^{۲۵۰}(۰/۰۱-۱).

در نتیجه احتمال خرابی در سیستم آبرسانی در اثر یک شکستگی در طول ۱ کیلومتر خط لوله به شکل تعجب برانگیزی زیاد می‌گردد: ۰/۹۱۹=^{۲۵۰}(۰/۰۱-۱)-۱

زلزله‌های بزرگ حتماً باعث خرابی و اختلال در سیستم‌های انرژی می‌گردند:

جدول۱۰ مقایسه‌ای بین ناکارآمدیهای شریانهای حیاتی و میزان خسارات وارده به ساختمانهای ژاپن را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که حتی یک زلزله که درجه بالایی ندارد و خسارت جدی به ساختمان وارد نمی‌آورد و در اثرآن حتی در دیوارها ترک هم ایجاد نمی‌گردد، باعث بروز نارکارآمدی در شریانهای حیاتی می‌گردد. مانند اختلال در توزیع برق، توقف در آبرسانی شهری، عدم سرویس‌دهی راه‌آهن و مشکلاتی از این دست. همچنان که درقسمتهای قبل بیان شد دلیل این امر همان گستردگی طول شبکه

شریانهای حیاتی می‌باشد و هرگونه خسارتی که به یکی از بخشهای ضعیف این شبکه وارد آید بر تمامی مجموعه اثر می‌گذارد و باعث ناکارآمدی کل سیستم می‌گردد.

بنابراین می‌توان فهمید که بروز مشکلات جدی درشبکه توزیع برق(حتی اگر فقط در حد ۱یا ۲ ساعت پس از زلزله باشد) پس از بروز یک زلزله امری حتمی و مشکل ساز است. درواقع حتی زلزله‌های کوچک هم باعث وارد آمدن خساراتی به روند تولید برق می‌شوند.

جدول ۱۰- مقایسه‌ای بین ناکارآمدیهای شریانهای حیاتی و میزان خسارات وارده به ساختمانهای ژاپن

نام زمین لرزه	سال	بزرگی	تعداد کشتگان	ساختمانها	راهها	راه‌آهن	شبکه‌های توزیع برق	آبرسانی شهری	گاز رسانی
Nihon- Kai-Chubu	۱۹۸۳	۷/۷	۱۰٤	متوسط	×	×	×	×	×
Miyagi-Ken-Oki	۱۹۷۸	۷/٤	۲۸	متوسط	×	×	×	×	×
Izu-Oshima-Kinkai	۱۹۷۸	۷/۰	۲٦	متوسط	×	×	×	×	ـ
Ohita-Ken-Chubu	۱۹۷۵	٦/٤	۰	متوسط	×	×	×	×	ـ
Izu-Hanto-Oki	۱۹۷٤	٦/۹	۳۰	متوسط	×	▲	×	×	×
Nemuro-Hanto-Oki	۱۹۷۳	۷/٤	۰	اندک	×	×	×	×	ـ

×: دسترسی و سرویس‌دهی از بین رفت.

▲ : به دلیل دور بودن منطقه از مرکز زلزله، سرویس‌دهی از بین نرفت.

ـ : در این منطقه و در آن زمان، هنوز سیستم گاز رسانی شهری وجود نداشت.

پیش بینی ژنراتورهای کمکی برای تأمین برق اضطراری در مواقع بحران امری ضروری است:

امروزه بیشتر ساختمانهای تجاری ژاپن به ژانراتورهای اضطراری (کمکی) مجهز شده‌اند تا بدین وسیله بتوان از قطع برق در مواقع بروز زلزله که در شبکه برق رسانی بوجود می‌آید جلوگیری نمود. البته نمی‌توان گفت که کار کردن این ژنراتورها پس از زلزله باعث بهبود کامل وضعیت و عادی شدن سیستم برق رسانی می‌گردد چرا که میزان برق تولیدی توسط ژنراتورهای اضطراری (کمکی) بسیار ناچیز است.

برای مثال، آسمانخراشی که ۱۰۰۰۰KW برق مصرف می‌نماید، مسلماً نمی‌توان تعداد کافی ژنراتورها برای تولید این میزان برق را فراهم نماید. ژنراتورهای اضطراری (کمکی) باید بلافاصله پس از زمان رخداد زلزله و قطع برق روشن شده و وارد مدار شوند؛ به همین دلیل است که از ژنراتورهای دیزلی که راندمان اندکی دارند برای تأمین این هدف استفاده می‌شود چرا که ژنراتورهایی که در آنها بخار توسط بویلر تولید می‌شود، با این که راندمان خیلی خوبی از لحاظ تولید برق دارند اما بخاطر این که به جوش آمدن آب بعد از قطع برق زمان زیادی می‌برد، از چنین ژنراتورهایی به عنوان ژنراتورهای کمکی استفاده نمی‌شود. حداکثر توان تولید این ژنراتورهای کمکی (اضطراری) چیزی در حدود ۱۰٪ انرژی برق در حالت عادی مصرف می‌باشد که این میزان برقی است که به زحمت می‌توان با آن انرژی مورد نیاز برای روشن شدن لامپهای اضطراری، سیستمهای پیشگیری از خسارت، سیستمهای ایمنی و امنیتی و اسباب تهویه را تأمین نمود. مواردی که هریک برای زندگی بشر مهم وحیاتی می‌باشند. البته واضح است که این میزان انرژی در حدی نیست که بتوان از آن برای روشن کردن آسانسورها و یا درهای اتوماتیک استفاده نمود.

تمرینات و آموزشهای مربوط به مواقع زلزله باید با شبیه سازی شرایط قطع برق انجام شوند:

همه ساله، اول ماه سپتامبر، به یادبود زلزله عظیم سال ۱۹۲۳ کانتو یک تمرین پیشگیرانه در برابر زلزله در سراسر ژاپن برگزار می‌شود. پخش صحنه‌هایی از این تمرین از تلویزیون انسان را به این فکر فرو می‌برد که آیا این تمرین از کارآیی لازم برخوردار می‌باشد یا خیر؟ این تمرین بدون در نظر گرفتن شرایط واقعی بعد از زلزله مصیبت بار انجام می‌پذیرد. چرا که برای مثال، در هنگام بروز یک زلزله بزرگ، در اثر قطع برق دیگر درب‌های اتوماتیک کار نمی‌کنند. علاوه بر آموزش چگونگی باز کردن یک درب اتوماتیک توسط دست، شخص تنها وقتی به میزان نیروی مورد نیاز برای باز کرن در آشنا می‌شود که شخصاً این کار را انجام دهد. شرایط پس از زلزله باید در این تمرینات لحاظ شوند تا این تمرینات از کارآیی لازم بهره‌مند گردند. همچنین این امر که تمرینات باید در تاریکی انجام شوند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چرا که ساختمانهای زیادی هستند که بدون چراغ، حتی در طول روز هم تاریک هستند. حتی بیرون از منازل هم گاهی شرایطی پیش می‌آید که مردم مجبور می‌شوند در تاریکی و بدون کمک لامپها فرار کنند؛ لذا باید بتوانند حدس بزنند که حدوداً چه فاصله‌ای را در تاریکی طی کرده‌اند. در آسمان‌خراشهای امروزی ۱۰۰۰ الی ۲۰۰۰۰ نفر در طول روزمشغول به کارند؛ براستی چقدر زمان صرف می‌شود تا تمام این افراد ساختمان را تخلیه کنند؟ شرکت افراد در اینچنین تمرینهایی الزامی است و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. واضح است که انجام چنین تمرینهایی در پیشگیری از حوادث بعد از زلزله مؤثر خواهد بود و قطعاً این تمرینات اطلاعات مناسبی جهت تخفیف بلایا و خسارات ناشی از زلزله خواهند داشت.

در اثر یک زلزله بزرگ سیستم‌های ارتباطاتی هم دچار مشکل می‌شوند:

بعد از یک زلزلهٔ بزرگ، حتی اگر امکانات و وسایل مخابراتی به سختی آسیب نبینند، باز هم امکان برقراری ارتباط تلفنی با مناطق زلزله‌زده نخواهد بود چرا که ترافیک شدیدی از تلفنهای افرادی که می‌خواهند از وضعیت بستگان و آشنایانشان درمناطق زلزله‌زده اطلاع یابند، ایجاد می‌شود. برای اطمینان از اینکه یک تلفن ضروری اداری قابل وصول خواهد بود، NTT (تلگراف وتلفن ژاپن) به طور اتوماتیک تلفنهای معمولی را میزان می‌کند و از ۵ تا ۱۰۰ درصد تلفنهای عادی وصل نمی‌شوند. به همین دلیل، بهتر این است که برقراری تماس به یک منطقه زلزله‌زده را به یک یا دو روز پس از زلزله موکول نمود. گفته می‌شود که در کشورهای دیگر، این مردم منطقهٔ زلزله‌زده هستند که برای آگاه نمودن بستگان و آشنایان از وضعیتشان اقدام به تماس با آنها می‌نمایند. در نتیجه بدین شکل دیگر ترافیک شدید تلفنی به منطقه زلزله زده ایجاد نمی‌شود.

■ اثرات اطلاعات نادرست

انتقال صحیح اطلاعات مشکل است:

آیا شما با این بازی قدیمی آشنا هستید؟ بازی که در آن افراد در یک صف می‌ایستند ویک نفر پیغامی شبیه به این را که : «آقای الف ساعت ۹ صبح روز ۸ مارس درکنار درب جنوبی راه‌آهن توکیو منتظرشماست.» آهسته در گوش نفر کناری زمزمه می‌کند. این پیغام از یکی به دیگری منتقل می‌شود و مثلاً نفر پانزدهم هم ممکن است همین پیغام را بشنود اما نفر بیستم دیگر این پیغام را با کمی تفاوت دریافت می‌کند. این نشان می‌دهد که انتقال صحیح اطلاعات قدری مشکل است. هنگامی که زلزله سال ۱۹۷۸ در دریای ایزو- اُشیما رخ داد، اطلاعاتی که توسط اداره «کنترل ترافیک» شهر دربارهٔ پس لرزه‌ها ارائه شد، توسط مردم غلط فهمیده شد. در نتیجه برخی از شهروندان سعی کردند که شهر را خالی کنند تا از آسیب‌های بعدی محفوظ بمانند؛ چرا که « شدت زلزله » را با « بزرگی زلزله » اشتباه گرفتند.درجه «بزرگی» شش (M=٦) تقریباً ناچیز و اندک است. زلزله‌هایی در این حد، در ژاپن به سختی ترکهایی در دیوار ایجاد

می‌کنند. در حالی که «شدت» لرزه مساوی با ۶ (JMA) مساوی است باهمان شدتی که در طول زلزلهٔ بزرگ کانتو در شهرهای توکیو و یوکوهاما درسال ۱۹۲۳ تجربه شد و لذا در اثر آن خسارات شدیدی قابل پیش بینی است.

صدایی که از درون یک بلندگو شنیده می‌شود به خوبی قابل فهم نیست:

صدایی که از درون بلندگوهای سیستمهای پیشگیری از بلایا و بلندگوهای اتومبیل شنیده می‌شود به دلیل اکو و یا مشکلات مسیر به خوبی قابل تشخیص نیست. اتاقها و مکانهای زیادی وجود دارند که این مدعا را اثبات می کنند.

هنگام وقوع یک زلزله آرامش خود را حفظ کنید:

هنگامی که در یک شرایط عادی، انتقال صحیح اطلاعات این قدر مشکل می‌باشد، (همچنان که در قسمت قبل توضیح داده شد.) تصور کنید که پس از یک زلزله بزرگ چه شرایط بد و نامناسبی پیش می‌آید. زمینه برای از دست دادن خونسردی افراد کاملاً وجود دارد و این خود باعث سردرگمی بیشتر آنها می‌شود. اکیداً باید از بوجود آوردن وضعیتی که در آن آشفتگی و تشنج در افراد بالا می‌رود و باعث ایجاد یک چرخهٔ اغتشاش می‌شود خودداری نمود؛ چرا که این امر باعث ایجاد سراسیمگی و هول و هراس زیاده در مردم می‌شود. از دست دادن خونسردی در هنگام زلزله و یا بعد از آن امری است که به خاطر ترس از مرگ در مردم بوجود می‌آید. و این امری است که بسیار باعث اشتباه می‌شود. چرا که امروزه در ژاپن، مرگ در اثر آسیب دیدگی در زیر ساختمان فروریخته که توسط یک زلزله شدید به کلی ویران شده، تقریباً امری بعید است. چرا که ساختمانها دچار آسیب دیدگی می‌شوند، اما بکلی فرو نمی‌ریزند. البته هنوز احتمال برخی آسیب دیدگی‌ها در اثرسقوط دیوارهای بلوک بتنی و... وجود دارد. فکر می‌کنم که خوانندگان با مطالعه و بررسی تصاویر خسارات وارد به سازه‌ها در اثر زلزله که در صفحات قبل آورده شده است، اطلاعاتی در این زمینه کسب کرده باشند.

اطلاعاتی که از زلزله ۱۹۲۳ ثبت شده است، نشان می‌دهد که تنها چند هزار نفر از کشتگان کسانی بودند که در اثر فروریختگی کامل ساختمان‌ها و ماندن در زیر آوارها جان داده بودند، در حالی که تعداد کشتگان در اثر آتش سوزی که بعد از زلزله رخ داد به چیزی بیش از صد هزار نفر رسید.

کمانش در خطوط راه‌آهن به علت نشست خاکریز

عموماً زلزله باعث می‌شود که خطوط دچار خم شدگی شوند؛ که این قبیل خم‌شدگی‌ها به قطارها اجازهٔ عبور نمی‌دهند. در مورد تصویر این حالت باید گفت که خاکریز (که از خاکریزی یک گودال در اطراف پایه بوده است.) نشست کرده وسنگ شکسته‌ها دیگر مهاری‌ها را تحمل ننموده‌اند، که در عوض باعث کاهش مقاومت جانبی شده‌اند.

این احتمال هست که تنش فشاری در طول ریلهای طویل (در حدود ۲ کیلومتر) زیاد شده و ریلها شروع به خم شدن و یا کمانش نموده‌اند. (که این امر بیشتر در تابستان‌ها اتفاق می‌افتد.)

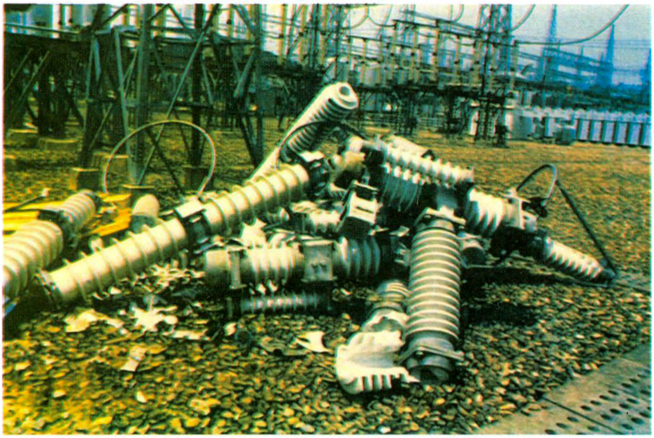
(زلزله میاگی ـ کن ـ اکی، ژاپن، ۱۹۷۸)

۲۸۱> کمانش در خطوط راه‌آهن به علت نشست خاکریز

شکستگی در مقره‌های چینی

در اکثر مواقع تهیه و تولید نیروی برق در اثر بروز زلزله برای مدت زمانی متوقف می‌گردد. هر چند که نسبت به سایر شریانهای حیاتی مانند گاز و یا آبرسانی شهری، انرژی برق سریعتر قابلیت برگشت به حالات نخستین را دارد. یکی از دلایل وارد آمدن آسیب دیدگی به روند تولید نیروی برق خرابی و شکستگی مقره‌های چینی می‌باشد. مقره‌ها ترد و شکننده هستند و از رس پخته درست می‌شوند و یکی از ضعیفترین مصالح در برابر زلزله‌ها محسوب می‌شوند.

(زلزله میاگی ـ کن ـ اکی، ژاپن، ۱۹۷۸)



۲۸۲◄ شکستگی در مقره‌های چینی

شکستگی در لوله‌های مدفون در خاک در اثر پدیده روانگرایی

در این عکس شاهد هستیم که لولهٔ مدفون شبکهٔ فاضلاب در اثر نیروی فوق‌العاده زیاد ناشی از روانگرایی زمین ماسه‌ای، به طور کامل دچار شکستگی شده است. این خسارتی است که در نزدیکی ساحل رخ داده است.

(زلزله میاگی ـ کن ـ اکی ، ژاپن، ۱۹۷۸)

۲۸۳◄ شکستگی در لوله‌های مدفون در خاک در اثر پدیده روانگرایی

ایجاد شکستگی در خط لولهٔ مدفون در اثر نشست خاکریز

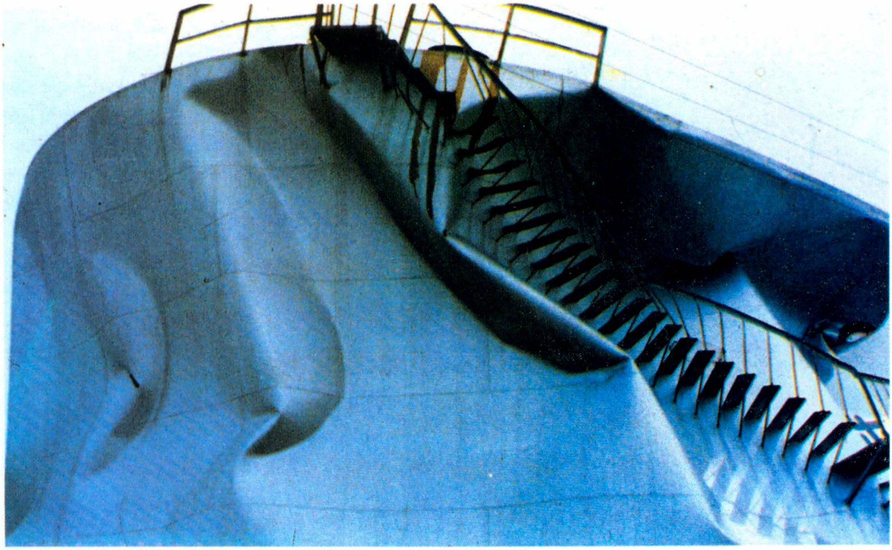
فونداسیون پلها معمولاً خیلی محکم هستند به طوری که حتی در طول زلزله‌ها هم نشست نمی‌کنند. اما خاکریز مجاور پایه پلها به راحتی دچار نشست می‌شود و دلیل آن مشکل بودن متراکم کردن محل اتصال می‌باشد. این نشست معمولاً باعث قطع شدن سیم تلفنها می‌گردد که دلیل آن برآمدگی موجود در محل اتصال بین خاکریز و پایه می‌باشند. برآمدگی تصویر روبرو این شکل را نشان می‌دهد.

(زلزله میاگی ـ کن ـ اکی، ژاپن، ۱۹۷۸)

۲۸۴◄ ایجاد شکستگی در خط لولهٔ مدفون در اثر نشست خاکریز

کمانش در دیواره یک مخزن نفت کوچک

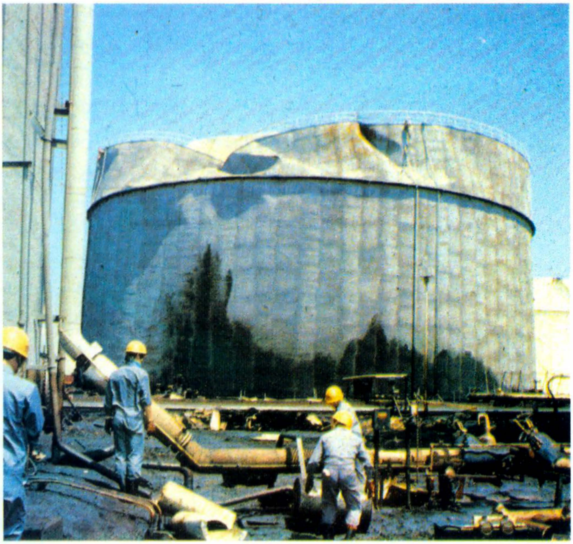
در دیواره یک مخزن کوچک نفتی در اثر تلاطم مایع کمانش رخ داد که در اثر آن نفت مخزن سرریز کرد. آثار این سر ریز در بالای مخزن بر جای مانده است.(زلزله نیگاتا، ژاپن، ۱۹۶٤)



۲۸۵◄ کمانش در دیواره یک مخزن نفت کوچک

کمانش مخزن نفت در اثر مکش

در حالتی که سقف یک مخزن ثابت شده باشد، در اثر نشت ناگهانی مایع محتوی مخزن، فشار هوای منفی ایجاد می‌شود که این فشار منفی باعث کمانش قسمت بالایی دیواره مخزن می گردد.
(زلزله میاگی ـ کن ـ اکی، ژاپن، ۱۹۷۸)



۲۸٦◄ کمانش مخزن نفت در اثر مکش

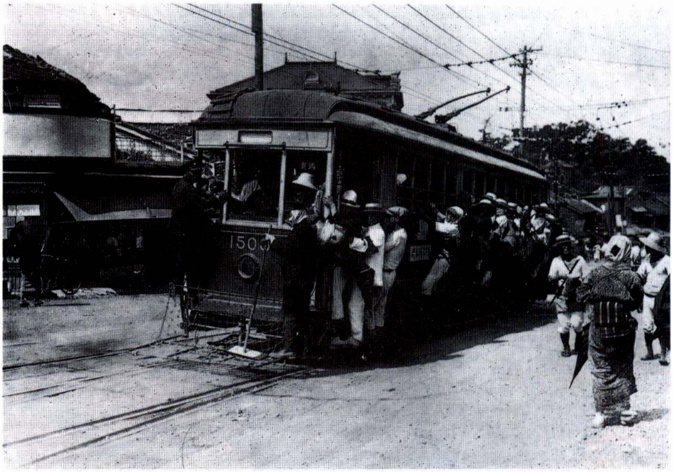
ویرانی مخزن آب

یک مخزن ساخته شده با بتن پیش تنیده که برای آبرسانی شهری از آن استفاده می‌گردید، خراب شد. به منظور تهیه و رساندن آب پاکیزه به خانه‌های منطقه، این مخزن بر بالای یک تپه نصب شده بود تا بتوان از ارتفاع ایجاد شده به منظور تأمین فشار آب استفاده نمود. از آنجایی که مخزن بر لبهٔ یک پرتگاه واقع شده بود، لذا به نظر می‌رسد که در اثر تشدید لرزه‌های زلزله ویران شده باشد.
(زلزله میاگی – کن - اکی، ژاپن، ۱۹۷۸)

۲۸۷◄ ویرانی مخزن آب

ازدحام مردم برای اتوبوس برقی که بلافاصله بعد از زلزله تعمیر شد.

دراین عکس شاهد ازدحام مردم خیابان در اطراف یک اتوبوس برقی هستید که تعمیر شده است.در این قسمت شهر، زلزله باعث ویرانی شدید خانه‌ها نشد، اما کاشی کاری (سفالهای) سقف منازل آسیب دیدند.
(زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳)



۲۸۸◄ ازدحام مردم برای اتوبوس برقی که بلافاصله بعد از زلزله تعمیر شد.

آسیب در پایه دکل مخابرات

عکس، یکی از برج‌های مخابراتی شرکت خصوصی مخابرات ژاپن (NTT) در شهر کوبه و در سن‌نومیا مرکز این شهر را نشان می‌دهد. نگاهی به سمت چپ و قسمت میانی خرپای فضایی این دکل مخابراتی بخوبی تغییر شکل و آسیب آن را نشان می‌دهد. قرار داشتن این دکل روی ساختمان در ارتعاش بیشتر آن موثر بوده است. خوشبختانه آسیب وارده به سیستم مخابرات نتوانست ما را از استفاده از تلفن، حتی در روز زلزله نیز باز دارد.
(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۲۸۹< آسیب در پایه دکل مخابرات

تعمیرات و بازسازی وقت‌گیر و هزینه‌بر

این لوله اصلی آب در شهر کوبه، آسیب شدیدی ناشی از حرکت زمین دیده است. تعمیر چنین آسیب‌هایی نیازمند نیروی انسانی، ماشین آلات، تجهیزات، وقت و هزینه زیاد می‌باشد. علیرغم استفاده از امکانات گسترده، باز هم تعمیرات و بازسازی شبکه آب در بعضی قسمت‌های شهر کوبه تا حدود چهار ماه بطول انجامید.
(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۲۹۰< تعمیرات و بازسازی وقت‌گیر و هزینه‌بر

آسیب لوله‌های مختلف در کنار یکدیگر

در این عکس عملیات مربوط به ترمیم لولهٔ آب در محلهٔ سن‌نومیا شهر کوبه رو به اتمام بوده است. اگر دقت کنید در بالای عکس، روی آسفالت قسمت آسیب دیده و بریده شدهٔ لوله را ملاحظه می‌نمائید. چند نکته جالب توجه در این عکس عبارتند از:

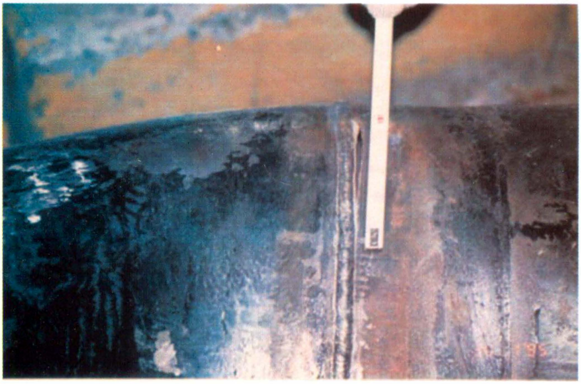
الف - وجود لوله‌های مختلف در کنار یکدیگر در زیر خیابان که بدون شک در عملیات ترمیم باعث اشکالات مختلف می‌گردد.

ب - حجم وسیع عملیات ترمیم که تقریباً عرض کامل خیابان را گرفته است.

ج - وسعت عملیات و تعداد افرادی که مشغول کار هستند حکایت از زمان زیاد عملیات ترمیم دارد.

(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۲۹۱< آسیب لوله‌های مختلف در کنار یکدیگر



۲۹۲⊲ترک در لوله‌های فولادی گاز در محل جوش

ترک در لوله‌های فولادی گاز در محل جوش

در خیابان فلاورراد محلهٔ سن‌نومیا شهر کوبه و تقریباً روبروی شهرداری این شهر، به این مورد برخورد کردم. همانطور که مشاهده می‌گردد، لولهٔ فولادی گاز در نزدیکی محل جوش ترک برداشته است که بطور عمده ناشی از اثرات جوش بر محیط اطراف خود بوده است.بررسی مسأله Heat Input از مواردی است که حتماً بایستی در«WPS» های جوشکاری لحاظ گردد تا میزان حرارت اعمالی، اثرات مخربی بر اطراف ناحیه جوشکاری نداشته‌باشد.

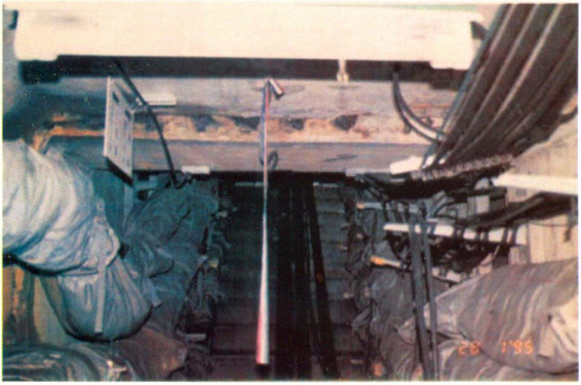
(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

۲۹۳⊲شکست لوله‌های چدنی آب

شکست لوله‌های چدنی آب

برای واضح‌تر شدن ابعاد این لوله چدنی آب که در سن نومیای شهر کوبه آسیب دیده‌بود، از فرزندم که در آن موقع ٦ سال داشت خواستم که با متر قطر لوله را نشان بدهد. آسیب چنین لوله‌هایی باعث شد تا همین کودک تا ۱/۵ ماه بی‌آبی را تحمل نماید. در مجموع ٤ ماه طول کشید تا تمام مناطق زلزله‌زده دارای آب شهری شدند؛ ولی واقعیت این است که حداکثر تحمل مردم حدود یک‌ماه بود و بعد از آن اعتراضات تلفنی زیادی به دست‌اندرکاران ادارهٔ آب صورت می‌گرفت.

(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)



۲۹٤⊲آسیب در تونل مخابرات

آسیب در تونل مخابرات

این داخل تونل بتنی متعلق به شرکت مخابرات ژاپن (NTT) می‌باشد. کابل‌های مخابراتی زیادی در داخل این تونل وجود دارد. جابجایی این تونل در قسمت بالای عکس یعنی در سقف آن کاملاً مشخص است. بعلت بالا بودن سطح آب زیرزمینی آب زیادی وارد این تونل شده بود که توسط دستگاه‌های پمپ تخلیه می‌شدند.

خوشبختانه آسیب‌ها طوری نبود که ارتباطات مخابراتی قطع گردد.

(زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵)

فصل هشتم

پیشگیری از آسیب‌های زلزله

مواردی که در خصوص پیشگیری از خسارات ناشی از زلزله بایستی در نظر گرفته شوند، بدین شرح است:

نخست، دانستن زمان تقریبی وقوع یک زلزله، که با بررسی پیش‌بینی‌های انجام شده، امری قابل تخمین است. در صورتی که امکان تعیین زمان دقیق زلزله‌ها ممکن بود، بی‌شک میزان تلفات جانی و خسارات مالی بسیار کاسته می‌شد.

دوم، ساختن ساختمانها و وسایل کاملاً مستحکم و آسیب‌ناپذیر، به نحوی که در برابر زلزله مقاوم باشند. در این صورت، قوانین باید به گونه‌ای تنظیم شوند که تنها به سازه‌های غیر قابل اشتعال و کاملاً مقاوم در برابر زلزله اجازهٔ ساخت داده شود تا از بروز آتش‌سوزیهایی که پس از زلزله رخ می‌دهد، احتراز شود. اما از آنجایی که این موارد، صرف هزینه‌های زیادی را شامل می‌شوند، لذا دستیابی کامل به شرایط فوق غیر ممکن به نظر می‌رسد. در حال حاضر در ژاپن این مسائل تنها در ساخت نیروگاههای اتمی لحاظ می‌شوند. مشاهده شده است که ساخت ساختمانی که شرایط فوق را دارا باشد، هزینه‌ای در حدود پنج برابر هزینه یک ساختمان معمولی را دارا می‌باشد.

سوم، اتخاذ یک رویکرد میانه و عُلمی به نحوی که بر مبنای واقعیات موجود بنا نهاده شده باشد. در واقع در نظر گرفتن یک افزایش فوق‌العاده در مقاومت ساختمانها در برابر زلزله توجیه‌پذیر نمی‌باشد.

افزون بر این مسائل، تاکنون یک سیستم عملی در خصوص پیش بینی زلزله به‌کار گرفته شده است که تنها در مورد زلزله توکایی عمل کرده است. پیشگیری کامل از بروز برخی خسارات، شبیه سقوط ناگهانی و یا فرو ریختن برخی از وسایل در طول یک زلزله تقریباً غیر ممکن به نظر می‌رسد. لذا تأکید بیشتر بر اتخاذ تدابیری جهت در نظر گرفتن پناهگاههایی است که در مواقع بروز آتش سوزیهای پس از یک زلزله بزرگ مصمون می‌مانند. بایستی نسبت به ایجاد راههای دسترسی به این پناهگاهها و تمیز نگه‌داشتن آنها دقت شود، و استراتژی اتخاذ شود که امکان استفاده از آنها در شرایط مورد نیاز، با حداکثر سرعت فراهم باشد.

در نهایت و به احتمال زیاد بهترین راه پس از پیش بینی زلزله، هشدارهای تمرینی زلزله در روزهای مختلف و ساعات متعددی از سال می‌باشد. این کار باعث می‌شود تا مردم، خود و امکانات زندگیشان را در برابر زلزله و شرایط ناشی از آن آماده کنند.

■ پیش بینی زلزله و تجربه بشری

یکی از نکات مورد علاقه عموم، پیشبینی زلزله است و این سؤال را همیشه از متخصصین می‌پرسند که آیا می‌شود زلزله‌ها را پیش‌بینی نمود و آنگاه به چند مورد که در بعضی جراید گذشته آمده‌است، اشاره‌ای می‌نمایند و در این میان بیشتر از چین نام می‌برند.

مؤلف دوم در حدود سال ۱۳۷۶ با بعضی همکاران، یک جمع بندی پیرامون مقوله پیش بینی زلزله به‌عمل آورده است که خلاصه ای از آن در ادامه آورده شده است.

ایشان قبل از آن نیز بعد از زلزله سال ۱۹۹۵ در شهر کوبه، جمع بندی از نقطه نظرات مردم در رابطه با نشانه های ملاحظه نموده قبل از زلزله به‌عمل آورده است که مهمترین نکات آن عبارتند از:

الف) تغییر رفتار و زوزه سگها از دو هفته تا شب قبل از زلزله
ب) تغییر رفتار گربه ها
ج) ناپدید شدن سوسکها در منازل
د) مهاجرت پرندگان
ه) عکس العمل ماهیها
و) تغییرات آب چاه

اما واقعیت این است که هنوز روش علمی مشخصی برای پیش بینی زلزله وجود ندارد. البته از نظر آمار و احتمالات می توان با تخمین چند دهساله وقوع زلزله را باتوجه به دورهٔ بازگشت آن حدس زد، لیکن منظور از پیش بینی، آن است که زمان وقوع زلزله را بتوان با تقریب حداکثر چند هفته یا چندماه مشخص نمود.

امروزه با توجه به رواج فناوری «GPS» یا سیستم موقعیت یابی جهانی از طریق ماهواره های با دقت بالا می‌توان حرکت زمین در اطراف گسلها را کنترل نمود. در صورت پیشرفت این روش میتوان از روی حرکتهای اطراف گسل به مقدار کرنش (تغییر مکان نسبی) زمین در منطقه گسل پی برد و باتوجه به مقاومت لایه های مختلف در اعماق زمین، با دقت قابل قبولی زمان تقریبی شکست احتمالی در داخل گسل را تخمین زد.

یک روش پیشنهادی تجربی

باتوجه به تجربیات زلزله های گذشته و نشانه های همزمان از رفتار حیوانات گرفته تا تغییرات سطح آب زیرزمینی می‌توان از یک روش عملی و تقریباً کم هزینه (در مقایسه با اثر پیش بینی درکاهش تلفات و خسارات) استفاده نمود. تربیت حیوانات برای انجام امور مختلف با استفاده از حساسیتهای آنها امروزه تقریباً به صورت متداول و علمی در آمده است. برای مثال می‌توان استفاده از سگها در کشف مواد مخدر یا اسلحه یا موارد مشابه نام برد. در این روش پیشنهاد می‌شود با استفاده از عکس العمل حیوانات و سایر نشانه های مشاهده شده، مراکز مسؤول به صورت زیر عمل نمایند:

الف) ایجاد مراکز کوچک برای نگهداری از تعداد جفت حیوانات حساس به زلزله از جمله سگ، اسب، گربه، ماهی و امثال آنها در طول گسلهای فعال در شهرها با فواصل چند کیلومتر از یکدیگر
ب)تجهیز این مراکز به وسایل کنترل رفتار حیوانات نظیر دوربینهای ویدئو، میکروفونهای حساس و ثبت صداها و عکس العملهای حیوانات مرکز
ج) حفر تعدادی چاه و کنترل تغییرات سطح آب آنها (میتوان از چاههای موجود نیز استفاده نمود.)
د) درصورت بروز هرگونه تغییر غیر عادی در یکی از حیوانات یکی از مراکز، بایستی رفتار سایر حیوانات را با دقت بیشتری کنترل نمود و به مخابره نتایج به یک مرکز کنترل مرکزی و سایر مراکز پرداخت.
ه) درصورت تغییر در رفتار تعداد بیشتری از حیوانات در یک مرکز، بایستی با فرض احتمال وقوع پدیده ای جدید در منطقه مورد بحث، به کنترل رفتار در سایر مراکز و مقایسه پرداخت.
و) درصورت مخابره تغییر رفتار از چند مرکز،احتمال وقوع پدیده بسیارزیاد شده و در این زمان بایستی به‌کنترل سایر نشانه ها از جمله تغییرات سطح آب زیرزمینی در چاهها پرداخت.

ز) درصورت بروز نشانه های دیگر، نتایج را به هیأتهای مسؤول تصمیم گیری منتقل نمود تا نسبت به اخذ تصمیمات مربوط به اعلام وقوع زمین لرزه و تخلیه مناطق اقدام نمایند.
ح) از این مراکز می توان به‌عنوان باغ وحشهای کوچک برای اهالی و مدارس محلی استفاده نمود و آنها را به مراکز تفریحی و درآمد زا تبدیل کرد تا هزینه مربوطه نیز تأمین گردد.

البته باید متذکر شد که اعلام زمان تقریبی وقوع زلزله اثرات بسیار جدی زیر را می‌تواند در پی داشته باشد:
- ایجاد هراس عمومی
- اثرات سوء اقتصادی
- اگر اعلام زمان زلزله اشتباه باشد، مردم اطمینان و اعتماد خود را در پیش بینی های بعدی از دست خواهند داد.

اقدامات پیشگیرانه و نگرش اصولی

پیشگیری در واقع به معنای پیشگیری از وقوع زلزله نیست؛ بلکه پیشگیری بعضی آسیبها، خسارات و عوارض بعدی می باشد. باتوجه به عوامل مؤثر در دستیابی به هدف یعنی چهار مقوله فرهنگ (خواستن)، دانایی (دانش)، توانایی (سرمایه و فناوری) و ساختار (قوانین و ضوابط) در رابطه با پیشگیری و کاهش آسیبها لازم است که موارد زیر مورد توجه جدی قرار گیرند:
الف) فرهنگ سازی: پیشگیری و کاهش آسیبها، در زلزله از مقوله فرهنگ ایمنی می‌باشد. استقرار و گسترش هرچه جدی تر فرهنگ ایمنی در جامعه باعث میگردد تا افراد نسبت به رعایت قوانین و ضوابط ایمنی اعتقاد و باور لازم را داشته باشند و اقدامات لازم را به‌عمل آورند. در اینجا جالب است که به این نکته اشاره شود که در ژاپن یکی از شعارهای عملی در کلیه امور، بویژه در امور عملیاتی در زمینه های مختلف، عبارتست از« Anzen Dai Ichi » یعنی «ایمنی، اولین» .

ب) اجتناب از ساخت و ساز در مناطق با خطر لرزه ای بالا: برای این‌کار لازم است که مطالعات گسترده ای بویژه با توجه به آمایش سرزمین صورت گرفته و پتانسیلهای خطر زلزله، سیل، طوفان، آتشفشان و سایر موارد مشخص گردد تا در برنامه های شهرسازی یا نظایر آن مورد استفاده قرار گیرند.
ج) رعایت آخرین استانداردها در ساخت و ساز: گرچه سطح دانش و فناوری در هر زمان دارای نواقص و کاستی‌هایی می‌باشد که نمی‌تواند ضمانت صددرصدی برای عدم آسیب پذیری باشد؛ لیکن نقش عمده ای در کاهش آسیب دارد و بطور اصولی باید گفت ساخت و سازهای براساس استاندارد تا حدود زیادی در مقابل مکانیزمهای شناخته شدهٔ خرابی تا آن زمان مقاوم می‌باشند.
د) تعمیر و نگهداری و بهره برداری صحیح ساخته شده ها: گذشت زمان باعث می گردد تا ساختمانها، تأسیسات و شبکه ها نیز فرسوده شوند و تحت تأثیر عوامل محیطی خورده شده و فرسایش یابند. وجود بارهای طولانی روی هر سازه ای باعث خستگی و وارفتگی آن می گردد که در نهایت ضعف رفتار سازه در مقابل زلزله را خواهد شد. لذا تعمیرات، نگهداری و بهره برداری صحیح از سازه های مختلف باعث افزایش عمر مفید آنها و عدم کاهش مقاومت آنها میگردد.
ه) سهولت امدادرسانی و عملیات بازسازی: توجه به سهولت امدادرسانی در هنگام زلزله و تسهیل عملیات بازسازی کوتاه و بلندمدت از جمله مواردی است که در برنامه های پیشگیرانه و کاهش دهندهٔ خطر، اهمیت بسیار زیادی دارد.

■ پیش بینی زلزله در ژاپن

به چه دلیل از زلزله می‌هراسیم؟ چون زلزله‌ها شوکهایی شدید و ناگهانی هستند و لذا ما همواره نگران این هستیم که خود یا عزیزانمان در زیر آوارهای فرو ریخته مدفون شویم و جان خود را از دست بدهیم.

با در نظر گرفتن نگرانیهای اخیر، باید گفت که هم اکنون نیز هر چند کمتر اما همچنان احتمال وقوع حوادثی از این دست در ژاپن وجود دارد. هدف از مطالعاتی که در خصوص پیش بینی زلزله انجام می‌شود این است که بتوانیم با دادن اطلاعاتی در مورد زمان، محل و شدت زلزله‌های آتی، این ذهنیت که زلزله به طور ناگهانی رخ می‌دهد را تغییر دهیم.

با بررسی تغییر شکلها و تغییرات کرنش زمین، پیش بینی شدت زلزله و مکانی که زلزله در آن به وقوع خواهد پیوست تا حدودی قابل تخمین می‌باشد؛ مشکل‌ترین مسأله پیش بینی زمان دقیق وقوع یک زلزله است. البته هم اکنون، با مطالعه و اندازه‌گیری کرنشهای زمین، تشخیص برخی از علامات قبل از وقوع زلزله (Premonitory Symptoms) ممکن می‌باشد. در ژاپن، پیگیری مطالعات پیش‌گویی زمان زلزله به صورت یک پروژهٔ ملی درآمده است. تاکنون پیش بینی زلزله تنها درمورد زلزله بزرگ توکامی با موفقیت انجام شده است.

■ تدابیر پیشگیرنده در برابر خسارات ناشی از زلزله

سازمانهای پیشگیری از خسارت شهروندان

همچنان که در بخشهای قبل نیز بیان شد، در ژاپن نگرانی از آتش سوزیهای عظیم، بیش از آسیب‌های ناشی از فروریختن منازل و ساختمانها به هنگام زلزله وجود دارد. هرچند که احتمال بروز این اتفاق هم با توجه به زلزله‌های اخیر، بعید به نظر می‌رسد. باید توجه شود که در صورت بروز آتش پس از یک زلزله بزرگ، احتمال مسدود شدن راههای ارتباطی به خاطر ترافیک و یا تصادفهای احتمالی وجود دارد و تیمهای آتش‌نشان نمی‌توانند بلا فاصله خود را به محل حریق برسانند. لذا، نیاز به تشکیل و آمادگی پیشاپیش تیمهای مقابله با آتش توسط شهروندان در هر منطقه‌ای از شهر امری ضروری است. افزون بر این مسأله، ژاپن کشوری است با میانگین سنی بالا و بسیاری از افراد مسن و سالخورده با مشکل حرکت و جابجایی(در مواقع بروز بحران) مواجه خواهند بود. به چه نحوی می‌توانیم به این افراد جهت فرار از حریق کمک کنیم؟ ژاپن به سازمانهایی نظیر (سازمان مردمی مقابله با آتش سوزی) وابسته است. در آمریکا و سایر کشورهای غربی ممکن است گروههای داوطلب بسیاری جهت کمک به افراد ناتوان موجود باشند، اما در ژاپن، نیاز به توسعهٔ هر چه بیشتر چنین سازمانهایی جهت کمک به هنگام عملیات‌های امداد بیشتر احساس می‌شود.

سیستم‌های جدید پیشگیری از آتش

پیش بینی خسارات ناشی از زلزله توسط شهرداریها طبق مراحل زیر می‌باشد: فرض می کنیم که قرار است زلزله‌ای در زمانی در آینده به وقوع بپیوندد. (مثلاً دومین مورد از زلزله عظیم کانتوکه در سال ۱۹۲۳ رخ داد.) و زمان آن هم پیش بینی می‌شود. (مثلاً ساعت ٦ بعد از ظهر یک روز زمستانی) در نتیجه تعداد آتش سوزیها با یک روش احتمالی بر آورده می‌شود. این روش تنها یک احتمال بوده و تنها خدا می‌داند که پیش بینی یک زلزله بخصوص در همان زمان رخ خواهدداد یا خیر؟

یک سیستم جدید پیشگیری از آتش بدین شرح پیشنهاد می‌شود: شرایط و میزان خسارات ناشی از اثر زلزله بایستی بلافاصله بعد از آن تشخیص داده شده و براساس اطلاعات بدست آمده، راهنمائیهای لازم جهت یافتن پناهگاه امن به مردم ارائه شود. لذا مردم می‌توانند ز حریق‌هایی که ممکن است آنها را احاطه نماید، فرار کنند وبه محلهای امن بروند. این سیستم بر سه فرض استوار است.

۱- پناه گرفتن از آتش مهمترین عامل در کاهش خسارات ناشی از زلزله می‌باشد.

۲- حریقها بلافاصله بعد از زلزله آغاز شده و در ابتدا آنقدر بزرگ نخواهند بود که قابلیت کنترل نداشته باشند.

۲- راهنمایی مردم به سمت پناهگاه مؤثرترین عامل جهت فرار مردم از آتش می‌باشد.

براساس فرض دوم می‌بایستی در حدود بیست دقیقه اول بعد از زلزله، اطلاعات در مورد میزان خساراتهای به‌وقوع پیوسته، جمع‌آوری شوند. اطلاعاتی در خصوص پلهای فروریخته، سنگینی ترافیک در راههای اصلی، و یا مسائلی که ممکن است در دسترسی به پناهگاهها، ایجاد مشکل نموده باشند. این اطلاعات بایستی توسط دوربینهای تصویربرداری ویدئویی که بر فراز ساختمانهای بلند و یا درون هلی‌کوپترها قرار می‌گیرند، جمع آوری شوند؛ به نحوی که یک دید کلی در خصوص خسارات اساسی به‌وقوع پیوسته در منطقه به‌دست آوریم. این روند با روشهای مرسوم پیش بینی خسارات زلزله، بسیار متفاوت است. زیرا اطلاعات موجود در خصوص خسارتها براساس برآورد شرایط واقعی بدست آمده‌اند و نه براساس تخمینها و برآوردها و لذا احتمال وقوع بالایی دارد. اطلاعات جمع آوری شده به یک مرکز تصمیم گیرنده با سرعت عملکرد بالا ارائه می‌شود تا نسبت به اخذ تصمیم در خصوص بهترین استراتژی پناهگاهی عمل گردد و راهنمائیهای لازم براساس استراتژی مزبور برای رفتن به پناهگاه به مردم ارائه شود. بعد از ۲۰ دقیقۀ اولیه اطلاعات جدیدی که به دست می‌آیند بایستی به صورت متناوب وارد کامپیوتر شود تا سیستم همواره به روز بماند.

آموزش عمومی جهت پیشگیری از خسارات آتش سوزی

درمواقع بروز آتش سوزی‌های عظیم، نمی‌توان انتظار عملکرد مناسبی از سیستم‌های خدمات عمومی مانند آتش‌نشانی‌ها و آمبولانسها داشت. این امر خصوصاً در کلان شهرهایی که از تراکم بالای جمعیت برخوردارند، مضاعف خواهد بود. لذا هریک از افراد جامعه بایستی درخصوص مقابله با آسیب‌های ناشی از زلزله(و یا رخدادهای وابسته به زلزله) آشنایی داشته باشند. برای دستیابی به این منظور، باید همواره اطلاعات و آموزشهای ما در خصوص خسارات ناشی از آتش سوزی ، نو و به‌روز باشد.

در خصوص پیشگیری از آتش سوزی باید دانست که خاموش کردن آتش در زمان وقوع یک زلزله، به‌نحوی که تبدیل به دود و یا گازهای سمی نشود، می‌تواند بسیار حساس باشد. در خصوص آموزشهای فیزیکی نیز به فعالیتها و تمرینهای مواقع اضطراری که حداکثر توان جسمی افراد را معین نماید نیاز است. مثلاً باید تمرینهایی برگزار شود تا هر مرد و زن، در طول یک راه یا جاده، با سرعت زیاد شروع به دویدن نماید و یا مجبور شود نسبت به بالا رفتن از یک دیوار یا بلندی اقدام کند. (ایجاد شرایط فیزیکی که در زمان بحران به‌وجود می‌آید.) در گذشته، این امکان وجود داشت که دانش‌آموزان بعد از پایان مدرسه در فضاهای بیرون مدرسه‌ها به بازی بپردازند و در واقع شرایطی فراهم بود که خود یک نوع آموزش طبیعی بود. امروزه، به ندرت امکان بازی در فضاهای اطراف مدرسه برای دانش‌آموزان فراهم می‌شود؛ چرا که مشغول شدن به بازیهای کامپیوتری و یا رفتن به کلوپها و یا حضور در کلاسهای کنکورخصوصی دیگر مجالی برای بازی کردن دانش‌آموزان نمی‌گذارد. لذا به آموزشهای خاصی نیاز است. همچنین ممکن است بتوان با طراحی انواعی از بازیهای کامپیوتری، جهت آشنا کردن دانش‌آموزان با پیشگیری از خسارات و پناه جستن از آسیبهای شرایط بحران، نسبت به آموزش آنها اقدام نمود.

فصل نهم

مهندسی زلزله در آینده

• زلزله و آینده

همزمان با پیشرفت در علم لرزه شناسی و مهندسی زلزله، پیشرفت علوم در سایر زمینه ها، زندگی بشر را ارتقاء می‌دهد و نسبت به زلزله حساستر می‌نماید. لذا با پیشرفتهای شگرف بشر در آینده، متخصصین زلزله نیز بایستی وارد وادیهای جدیدتری از دانش و فناوری گردند. هرچه تجهیزات، دستگاهها و وسایل پیشرفته و دقیق وارد زندگی بشر می‌گردد آسیب پذیری آنها در مقابل زلزله پیچیده‌تر می‌شود. هنوز در علوم مختلف زلزله جا برای تحقیقات و نوآوریهای فراوانی وجود دارد و برای دست یافتن به چگونگی عملکرد واقعی سازه ها در هنگام زلزله نیاز به مدلسازیهای فیزیکی و ریاضی دقیقتر، صحیحتر و سریعتری میباشد. در همین راستا توجه خواننده عزیز به چند نکته زیر جلب می‌گردد:

الف) بعد از زلزله سال ۱۹۹۵ در کوبه ژاپن، تغییرات زیادی در آئین نامه ها و استانداردهای لرزه ای در ژاپن بوجود آمد. تحقیقات بسیار وسیع پیرامون این زلزله باعث گردید تا بیش از هزاران گزارش، کتاب و مقاله به چاپ برسد که آرشیو اصلی آنها هم اکنون در مرکز اسناد و مدارک استانداری هیوگو در شهر کوبه ژاپن موجود می‌باشد و علاقمندان می‌توانند از آن استفاده نمایند.

مراکز تحقیقاتی متعددی بعد از این زلزله بوجود آمد که مؤلفین اول و دوم شخصاً از آنها بازدید کرده‌اند. در یکی از این مراکز تحقیقاتی که در شهر میکی در حومه شهر کوبه احداث گردیده است، برای مدلسازی زلزله از یک میز لغزان بسیار بزرگ استفاده می شود که می‌توان روی این میز، یک ساختمان واقعی برج مانند را مدل نمود و به تحلیل رفتار واقعی آن پرداخت. هدف از احداث چنین مرکز تحقیقاتی بزرگ و پرهزینه ای پیرامون زلزله، آشنایی هرچه بیشتر به رفتار واقعی سازه ها در چند ثانیه وقوع آن می‌باشد.

ب) از نظر مدلسازی ریاضی و کامپیوتری سازه ها، برنامه های کامپیوتری جدیدی به بازار آمده است که می‌توانند رفتار سازه ها را از ابتدا تا انهدام کامل مشابه سازی نموده و واقعیات زیادی از رفتار واقعی آنها را به نمایش بگذارند. گرچه این روشها در حال حاضر وقت‌گیر می‌باشند، لیکن با پیشرفت سریع کامپیوترها از نظر سرعت ، ظرفیت و دقت در آینده ای نه چندان دور شاهد کامپیوترها و برنامه های مشابه سازی خواهیم بود که در کمتر از یک دقیقه چگونگی رفتار و انهدام سازه ها را در زلزله مشابه سازی می‌نماید.

ج) تحقیقات زیادی در موارد زیر در آزمایشگاههای مختلف کشورهای پیشرفتۀ لرزه خیز در جریان است که باعث پیشرفتهای شگرفی در آینده برای علوم مربوط به زلزله خواهند شد:

- عملی نمودن روشهای جداسازی لرزه ای که با استفاده از آنها می توان از انتقال لرزه ها به سازه جلوگیری کرد و سازه ها را ایمن نمود.

- دستیابی به مصالح جدید که دارای وزن بسیار کم می‌باشند و در عین حال ضمن داشتن مقاومت لازم، عایق صدا و حرارت نیز هستند.

- کشف روابط مختلف بین رفتار دقیق سازه ها با عوامل مختلف مربوط به ویژگیهای لرزه، نظیر راستای گسل، نوع حرکت آن و ویژگی امواج و انتشار آنها

- تحقیقات زیاد پیرامون روشهای سریع هشدار و زمان واقعی که بتوان با استفاده از آنها نسبت به کنترل عملکرد و فعال نمودن دستگاهها و تجهیزات کنترل کننده اقدام سریع نمود. از جمله این موارد می‌توان از سیستمهای هشدار سریع و قطع از راه دور جریان گاز و آب نام برد.

د) افزایش توانایی بشر در رابطه با پیش بینی وقوع زلزله از دیگر موارد تحقیقاتی است که نتایج جالب آن در آینده ای نه چندان دور در دسترس همگان قرار خواهند گرفت.

ه) روشهای مختلف تعمیر و نگهداری و به‌ویژه مقاوم سازی یا بهتر بگوئیم ایمن سازی سازه ها از دیگر موارد تحقیقاتی است که در آینده شاهد استانداردهای جدید در این موارد خواهیم بود.

علیرغم آنچه که امروزه در کشورهای پیشرفته‌ای چون ژاپن و آمریکا صورت می‌گیرد، هنوز مطالب زیادی است که اصولاً کشف نشده‌اند و احتمالاً در آینده شاهد مکانیزم های خرابی و آسیبها و خسارات جدیدتری در زلزله های آینده خواهیم بود که خود نیاز به شناخت بیشتر و روشهای مناسبی برای مقابله خواهند داشت.

هدف اصلی علم مهندسی زلزله، جلوگیری از ویرانی و یا پیشگیری از بروز خسارات جدی به انواع سازه‌ها در مواقع بروز زلزله می‌باشد. هم اکنون در کشور ژاپن فروریختن سازه‌ها به نحوی که باعث بروز تلفات جانی فراوان شود، تقریباً خیلی به ندرت رخ می‌دهد. اما هنوز احتمال آسیب‌دیدگی و یا مرگ افراد در اثر حوادثی همچون واژگونی دیوارهای آجری یا سقوط آجرها، افتادن سیستم‌های تأسیساتی ساختمانها از روی دیوارها و یا سقوط منابع آب از روی پشت بامها وجود دارد. به منظور پیشگیری از این نوع خسارات، علاوه‌بر تقویت تأسیسات و تجهیزات و بر طرف نمودن مشکلات سازه‌ای بر مسؤولین لازم است تا در صورت وقوع حادثه، با احساس مسؤولیت به کاهش آسیب‌های ثانویه بپردازند. این امر یکی از مباحثی است که در آینده علم مهندسی زلزله مورد بررسی بیشتر قرار خواهد گرفت.

شهرهای مدرن در واقع از تجمع ساختمانها و سازه‌های مجزایی ایجاد می‌شود که هر یک عملکرد خاصی از خود ارائه می‌دهند. شهرهای امروزی علاوه بر ساختمانهای معمولی، شامل مجموعه‌ای ازساختمانهای خاص نظیر نیروگاههای برق هستند که مجموعه عملکرد اینگونه ساختمانها، عملکرد کلی شهر را مشخص می‌نمایند. بنابراین، امروزه هدف از علم مهندسی زلزله سعی بر کاستن از میزان اختلالاتی است که درروند فعالیتهای اساسی یک شهر در طول یک زلزله عظیم رخ می‌دهد. به رغم تلاشهای انجام شده، حجم زیادی از پول و سرمایه بایستی صرف شود تا سازه‌ای به طور کامل در برابر یک زلزله قوی، مقاوم شود. این بدان معنی است که حتی اگر تکنولوژی دستیابی به سازه‌هایی با مقاومت بسیار زیاد در برابر زلزله نیز موجود باشد، امکان مقاوم‌سازی کامل سازه‌ها در برابر زلزله وجود ندارد. ایدهٔ پذیرفته شده در حال حاضر مبتنی براین تفکر است که در هنگام بروز یک زلزلهٔ فوق‌العاده شدید، بروز درز و ترک در ستونها و دیوارها غیر قابل اجتناب است، اما فرو ریختن کامل یک سازه پذیرفتنی نیست. در باب شریانهای حیاتی نیز، تنها بروز یک توقف کوتاه مدت غیر قابل اجتناب است؛ لذا تمرکز مطالعات بر اتخاذ استراتژیهایی است که توانایی بازگرداندن شریانهای حیاتی را بعد از مدت کوتاهی داشته باشند.

علاوه براین، آینده علم مهندسی زلزله حرکت به سمت وسویی است که امکان اتخاذ تدابیر مناسب جهت مقابله و کاهش خطر را از طریق فن‌آوریهای پیشرفتهٔ اطلاعاتی نظیر کامپیوترها، آنچنانکه در سیستم‌های پیشگیری از آتش سوزی در فصل ۸ توضیح داده شد، فراهم آورد. لازمهٔ چنین تدابیر پیشگیرانه‌ای لحاظ نمودن روحیات و افکار مردم است. لذا اقدامات متقابل محققین علوم انسانی و اجتماعی بسیار مورد نیاز است. بخش عمده‌ای از جمعیت ژاپن و سرویسهای اطلاع رسانی مهم به‌طور روز افزون در توکیو مستقر شده‌اند که در حال حاضر مرکز فعالیت های اقتصادی و اطلاعاتی جهانی است. اگر قرار باشد که فعالیتهای چنین شهری در اثر زلزله فلج گردد، ضربات

شدید اقتصادی- اجتماعی به ژاپن و سایر کشورهای جهان وارد خواهد شد. ژاپن دچار خسارت بسیار فراوان اقتصادی در صورت وقوع زلزله در توکیو خواهد گردید. این ضربات اقتصادی می‌تواند آنقدر شدید باشد که ژاپن را به فراخوانی سرمایه‌گذاری بین‌المللی وادار نماید و باعث سستی اقتصاد جهانی گردد. این قبیل معضلات اقتصادی حتماً بایستی در مد نظر قرار گیرد.

آنچه بیان شد مربوط به آینده مهندسی زلزله در کشورهای پیشرفته می‌باشد. اما با توجه به اینکه بخش عمده تلفات انسانی زلزله در کشورهای در حال توسعه ناشی از خرابی ساختمانهای با مصالح بنایی نظیر خشتی، آجری و سنگی بوده است، آینده مهندسی زلزله در این کشورها به مطالعات و تحقیقات بیشتر پیرامون مقاوم‌سازی هر چه بهتر این قبیل ساختمانها در مقابل زلزله وابسته خواهد بود.

بنابراین آینده مهندسی زلزله را به دو شاخه بایستی تقسیم نمود: یکی در کشورهای پیشرفته و توسعه یافته و دیگری در کشورهای در حال توسعه که از نقطه نظر جلوگیری از تلفات انسانی مورد دوم دارای اهمیت بیشتری می‌باشد.

سخن آخر

آنچه که پیش روی شما قرار گرفت، حاصل تلاش مؤلفین جهت شناساندن علم مهندسی زلزله، از طریق آشنایی با خسارات و خرابی‌های ناشی از زلزله بود. در این کتاب ضمن ارائه نمونه‌های متعدد و متنوع از زلزله‌های چند دهه اخیر (که مربوط به کشورهای مختلف می‌باشند) سعی شده است که به بررسی موردی ویژگی‌های آسیب‌پذیری کشورهای ژاپن و ایران نیز پرداخته شود.

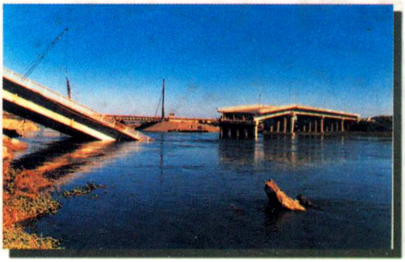
در تنظیم متن کتاب، سعی بر این بوده‌است که مطالب برای ایجاد آشنایی افرادی که با رشته مهندسی عمران و خصوصاً گرایش مهندسی زلزله آشنا نیستند، مفید واقع شود و همچنین متخصصین نیز موفق به یافتن اطلاعات مورد نظر خود در فصل‌های مختلف کتاب شوند.

بی شک خوانندگان این کتاب تنها متخصصین مهندسی زلزله نخواهند بود؛ بلکه عموم مردم و همچنین دانشجویانی که مشتاق به دستیابی اطلاعاتی در زمینه مهندسی زلزله هستند و از نزدیک شاهد خسارات واقعی زلزله نبوده‌اند ـ از بخش‌های مختلف این کتاب استفاده خواهند کرد.

بررسی میزان آسیب‌پذیری کلان شهر تهران ـ و سایر شهرهای بزرگ ایران ـ در برابر آتش‌سوزی‌های پس از زلزله و ایجاد هشدار به مردم و مسؤولان مدیریت شهری، از دیگر اهداف کتاب بوده است که در این راستا ما مجبور به استفاده از عکس‌های مربوط به زلزله بزرگ کانتو (در سال ۱۹۲۳) بودیم که بزرگترین حریق را در شهر «توکیو» در پی داشته است. تهیه عکس‌هایی از انواع مختلف ساختمان، متناسب با شرایط مختلف اقلیمی کشور ایران از نکاتی است که به دلیل کمبود وقت و امکانات میسر نشده است و خصوصاً در بخش مربوط به خسارات وارد به خانه‌های چوبی، بررسی موردی ساختمان‌های بخش‌های شمالی کشورمان از کارهای بسیار مهم محسوب می‌شود که امیدواریم در چاپ‌های بعدی کتاب به آن بپردازیم.

در پایان مجدداً لازم می‌دانیم که غایت سپاسگزاری و تشکر خود را به کلیه عزیزانی که ما را در تهیه و تنظیم این کتاب یاری نمودند ارزانی داریم. در این خصوص زحمات بیدریغ دوستانمان در واحد مستندسازی دانشکده صنعت آب و برق در زمینه صفحه‌آرایی، تنظیم عکس‌ها، تهیه شکل‌ها و نمودارها و نهایتاً بازخوانی و ویرایش املایی کتاب، یاری بخش ما در طول راه بوده است.

به امید روزی که شاهد کاهش چشمگیر میزان بلایا و مصیبتها در جوامع انسانی باشیم.



درکشور ایران - با توجه به قرارگیری بر روی کمربند زلزله - نیازمند فراهم آوردن بسترهای لازم در جهت آگاهی بخشیدن بـه عموم مردم و خصوصاً متخصصین ســـــازه، جهت پیش‌بینی تمهیدات پیشگیرانه «قبل» و «بعد» از زلزله می‌باشیم. این امر هم در خصوص مسائل مربوط به طراحـی سـازه‌ها و هم از باب بررسی آسیب‌شناسی اجتماعی در مقابل زلزله حائز اهمیت می‌باشد.

در این راستا و در جهت مدیریت بحـران در زمان زلزله، شـرکت یادمان سازه، وابســته بـه شهرداری تهران که مجری طرح پروژه عظیم «مرکز ارتباطات بین‌المللی تهران (مجموعهٔ یادمان)» می‌باشد، اقدام به یاری مؤلفین در انتشار این کتاب، جهت بالا بردن سطح آگاهی عمومی جامعه در زمینه زلزله نمود. این کتاب بـه عنوان اثری که در جهت اسـتفاده مهندسـین عمران مفید می‌باشـد، حاصل تجربیات سالیان گذشته در کشورهای گوناگون جهان اسـت که بـا نثر سـاده و شـیرین خود جهت عموم مردم قابل استفاده می‌باشد.

بخش‌های مربوط به «مسائل بعد از زلزله» در کتاب حائز اهمیت است و در این راسـتا می‌توان برج مخابراتی-تلویزیونی میلاد تهران را به‌عنوان یکی از ارکان هدایت‌کننده بحران در زمان بـعد از زلزله دانست. ایجاد امکانات خاص مخابراتی نظیر امکان ارتبـاط‌دهی تلفن‌های همراه مسـؤولین شهری بعد از زلزله، فراهم نمودن امکانات خاص بی‌سیم جهت امدادرسانی و ... توسط فرستنده‌های واقع در طبقات سازهٔ رأس و بر روی دکل این بـرج و مکانی جهت مشاهده خرابـی‌های شـهری از جمله پیش‌بینی‌های انجام‌شده در این خصوص در کلان‌شهری همچون تهران می‌باشد.

آرزوی به‌وقوع نپیوستن زلزله شاید امری محال باشـد، اما پیش‌بـینی شـرایطی که در صورت وقوع زلزله آسیب‌های اجتماعی به حداقل ممکن برسد از وظایف اساسـی مسـؤولین کلان‌شهرهای دنیا است.

ناشر

تصویر پروژه مرکز ارتباطات بین‌المللی تهران (مجموعه یادمان)